

ISSN 2224-1159

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

# ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 2 (55) 28 июня 2017 г.



ВОЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

# ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 2 (55) 28 июня 2017 г.

**Военный научно-теоретический журнал**

**Издается с 2003 года**

**Адрес редакции:**

220057, г. Минск-57, учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», главный корпус, комн. № 264 А.  
Тел./факс: 287-45-15.

**Издатель:**

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.

**Набор и верстка:**

Демидова А. К.

**Дизайн обложки:**

Мацкевич А. Н.

**Печать:**

ЛП № 02330/76

от 27.03.2014 г.

Подписано в печать 21.06.17 г.

Формат 60×84/8. Бумага писчая.

Гарнитура «Таймс». Печать ризография. Усл. печ. л. 14,88.

Тираж 100 экз. Зак. 263.

Отпечатано в типографии учреждения образования

«Военная академия Республики Беларусь».

220057, Минск-57.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Лапука О. Г.**, *главный редактор*, доктор технических наук, профессор;

**Малкин В. А.**, *заместитель главного редактора*, доктор технических наук, профессор;

**Гришкевич М. М.**, *секретарь*, кандидат военных наук, доцент;

**Белько В. М.**, кандидат технических наук, доцент;

**Вашкевич В. Р.**, кандидат технических наук, доцент;

**Гринюк В. И.**, кандидат военных наук, профессор;

**Калитин С. Б.**, кандидат технических наук, доцент;

**Колодяжный В. В.**, доктор военных наук, профессор;

**Ксенофонтов В. А.**, кандидат философских наук, доцент;

**Куренёв В. А.**, доктор технических наук, профессор;

**Лебёдкин А. В.**, доктор военных наук, профессор;

**Осипов Г. А.**, кандидат военных наук, доцент;

**Павлович В. С.**, доктор физико-математических наук, профессор;

**Седышев С. Ю.**, кандидат технических наук, доцент;

**Чубрик В. Г.**, кандидат военных наук, доцент.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь научный журнал «Вестник Военной академии Республики Беларусь» включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по военной, технической (информатика, вычислительная техника и управление; вооружение и военная техника; радиотехника, связь, электроника и микроэлектроника) и педагогической (воинское обучение и воспитание, военная педагогика) отраслям науки.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Основы военной науки и военного строительства**

Бордак С. С., Субботин М. Н. Гражданская оборона в период нарастания военной угрозы.....	3
Буяновский В. Л., Клименков И. В. Подход к оценке эффективности управления техническим обеспечением зенитной ракетной бригады.....	12
Верлуп С. В. Осмысление военного аспекта обеспечения национальной безопасности на государственной границе в контексте Военной доктрины Республики Беларусь.....	20
Иванов А. С., Черный В. Д. Применение нечеткой автоматической классификации для определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника.....	25
Колодяжный В. В., Драгун В. Р., Посудевский А. А., Пальцев А. Н. Подход к оценке эффективности противовоздушной обороны войск и объектов в современных условиях.....	34
Любочко О. Н. Территориальная оборона, как инструмент обеспечения военной безопасности государства.....	41
Муравейко П. Н., Примак П. В. Актуальные проблемы строительства и развития Вооруженных Сил.....	48

**Системный анализ и информационные технологии в военном деле**

Бусел М. О. Методика синтеза конформных антенных решеток с произвольным расположением излучателей.....	54
Лапука О. Г., Рахоцкий Д. А., Ростов А. А. способ управления пространственным положением имитируемой цели для бортовых радиолокационных станций, работающих в режиме переднебокового обзора.....	63
Хижняк А. В., Шарак Д. С., Михненко Е. И. Применение комплексирования изображений, получаемых от источников различного спектрального диапазона, в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов.....	72

**Общетеоретические вопросы разработки и совершенствования вооружения и военной техники**

Сидоренко С. Т., Кудерко В. В., Врублевский С. С. Конструктивный синтез двухдиапазонной директорной антенны методом S-матрицы.....	79
Солонар А. С., Михалковский А. А. Особенности применения алгоритма JV для решения задачи отождествления на этапе вторичной обработки радиолокационной информации.....	87
Федоров А. И., Демешко В. С. Методика расчета показателей качества обнаружения наземного противника автоматизированной системой охраны стартовых позиций ПВО.....	96

**Разработка, модернизация и эксплуатация вооружения и военной техники**

Банников В. Ю., Цыганков В. Н. Анализ технических решений по повышению живучести военной автомобильной техники.....	101
Котлобай А. Я., Котлобай А. А., Гришкевич М. М., Тамело В. Ф., Герасимюк А. И. Обоснование целесообразности применения гидропривода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины.....	108

**Проблемы военной педагогики, воинского обучения и воспитания**

Мелёхин В. Н. Профессиональная культура и обеспечение безопасности полетов в авиации: постановка проблемы.....	115
Тицкий А. Г. Развитие военных психолого-педагогических исследований: проблемы и перспективные направления.....	123

# ОСНОВЫ ВОЕННОЙ НАУКИ И ВОЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

---

УДК 335.58(476)

## ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА В ПЕРИОД НАРАСТАНИЯ ВОЕННОЙ УГРОЗЫ

С. С. Бордак;

М. Н. Субботин, кандидат военных наук, доцент \*

*В статье проведен анализ сущности и содержания периода нарастания военной угрозы и особенности мероприятий гражданской обороны в этот период. Особое внимание уделено содержанию этапов подготовки гражданской обороны.*

*In article the analysis of an entity and the maintenance of the period of rise of military threat and feature of actions of civil defense is carried out to this period. Special attention is paid to the maintenance of stages of preparation of civil defense.*

Гражданская оборона (ГО) является составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь по обеспечению военной безопасности. Указом Президента Республики Беларусь [1] определено, что военная безопасность – состояние защищенности национальных интересов Республики Беларусь от военных угроз. В соответствии с действующим законодательством в нашей стране непосредственное ведение ГО осуществляется с момента введения военного положения, объявления войны или фактического начала военных действий. Законом [2] регламентировано, что подготовка государства к ведению ГО должна осуществляться заблаговременно в мирное время с учетом совершенствования, с одной стороны, средств вооруженной борьбы, с другой – средств защиты населения от опасностей, возникающих при ведении военных действий. В изученных по теме статьи источниках специфика ведения ГО рассматривается преимущественно в условиях военного времени. Вместе с тем в Военной доктрине Республики Беларусь [3] отмечается, что «...одной из мер по обеспечению военной безопасности государства в мирное время является поддержание системы ГО в готовности к развёртыванию в установленные сроки и эффективное выполнение задач по предназначению». Следовательно, функционирование ГО осуществляется как в военное, так и в мирное время. В мирное время проводится ряд подготовительных мероприятий, а в военное осуществляется ведение ГО. В связи с этим особое значение имеет перевод ГО на работу в условиях военного времени. Проводимые мероприятия в этот период должны обеспечить своевременное приведение в готовность объектов, сил и средств ГО, необходимую защиту населения, объектов, имеющих важное оборонное и экономическое значение, а также объектов, необходимых для жизнеобеспечения населения в условиях ведения военных действий.

Перевод ГО на работу в условиях военного времени осуществляется в период, предшествующий военному времени. В [3] этот период определен как период нарастания военной угрозы (ПНВУ): «...часть мирного времени, предшествующая военному времени и характеризующаяся высоким накалом противоречий в межгосударственных или внутригосударственных отношениях, активизацией непосредственного приготовления противостоящих сторон к войне или вооруженному конфликту».

Этот период характеризуется проведением мобилизации и, несмотря на то, что по сути это еще мирное время, активными действиями диверсионно-разведывательных групп (ДРГ) и незаконных вооруженных формирований (НВФ).

Подтверждением тому являются исследования, проведенные рядом ученых. Так, С. М. Ермаков, исследуя вопросы размещения различных военных контингентов на

территории Европы, отмечает, что зарубежные военные эксперты предлагают перейти к модели военного присутствия на Европейском континенте, которая предусматривала бы наличие средних сил и увеличение числа обеспечивающих подразделений с большей опорой на силы специальных операций [4]. В работе [5] В. А. Владимиров указывает, что новые вооруженные силы, по мнению военных специалистов, должны использоваться не столько для ведения традиционных военных действий, сколько для того, чтобы лишить противника возможности активного сопротивления за счет поражения его наиболее важных объектов экономики и инфраструктуры. Это может достигаться широким использованием сил специальных операций, ударами крылатых ракет воздушного и морского базирования, а также массированным использованием средств радиоэлектронной борьбы. Там же он отмечает, что применение сил специальных операций предусматривает заблаговременную переброску в тыл противника сотен диверсионных групп в целях совершения диверсионных актов на наиболее важных его объектах по заранее разработанному замыслу.

В итоге опасность ПНВУ заключается в возможности скрытого применения вооруженной силы против суверенитета нашего государства в этом промежутке времени. Последствия действий ДРГ и НВФ могут привести к жертвам среди мирного населения, нарушению условий его жизнедеятельности, а также к нарушению функционирования объектов, имеющих важное оборонное и экономическое значение, инфраструктуры и объектов жизнеобеспечения. Это определяет актуальность исследования особенностей этого периода, анализа его сущности и содержания.

Исследуя процесс эскалации военно-политической напряженности, нельзя не отметить его начальную составляющую. В работе [6] М. Ф. Гацко, который исследует указанный процесс, дается характеристика такому понятию, как «военно-политический вызов», который, по мнению автора, проявляется в стремлении одной из сторон военно-политических отношений к противодействию другой стороне в осуществлении интересов национальной безопасности. Там же автор приводит специфические отличительные характеристики каждой конкретной фазе военно-политической напряженности, которые включают риски, вызовы и угрозы.

Таким образом, учитывая мнения С. М. Ермакова, В. А. Владимирова, М. Ф. Гацко, можно утверждать, что стремления одной из сторон военно-политических отношений к противодействию другой стороне формируют риски и вызовы. Высший уровень военной опасности, характеризующийся действиями конкретного субъекта политики в отношении другого государства, которые могут привести к возникновению военного конфликта, определяют как военную угрозу. Уровень военной угрозы находится в прямой зависимости от степени готовности государства-агрессора (коалиции государств-агрессоров) или негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации, к развязыванию военных действий в отношении другого государства. Военная угроза может либо реализоваться (начало ведения боевых действий), либо перейти в предшествующее состояние (рисунок 1).



Рисунок 1. – Процесс эскалации военно-политической напряженности

В. Г. Гагарин в работе [7] для обоснованного решения проблем, связанных с оборонным строительством и обеспечением безопасности страны в целом, при анализе военно-политической и стратегической обстановки предлагает различать и определять три уровня военной опасности:

- 1) военная опасность, при которой отсутствуют условия для возникновения военной угрозы;
- 2) возникновение военной угрозы;
- 3) непосредственная военная угроза.

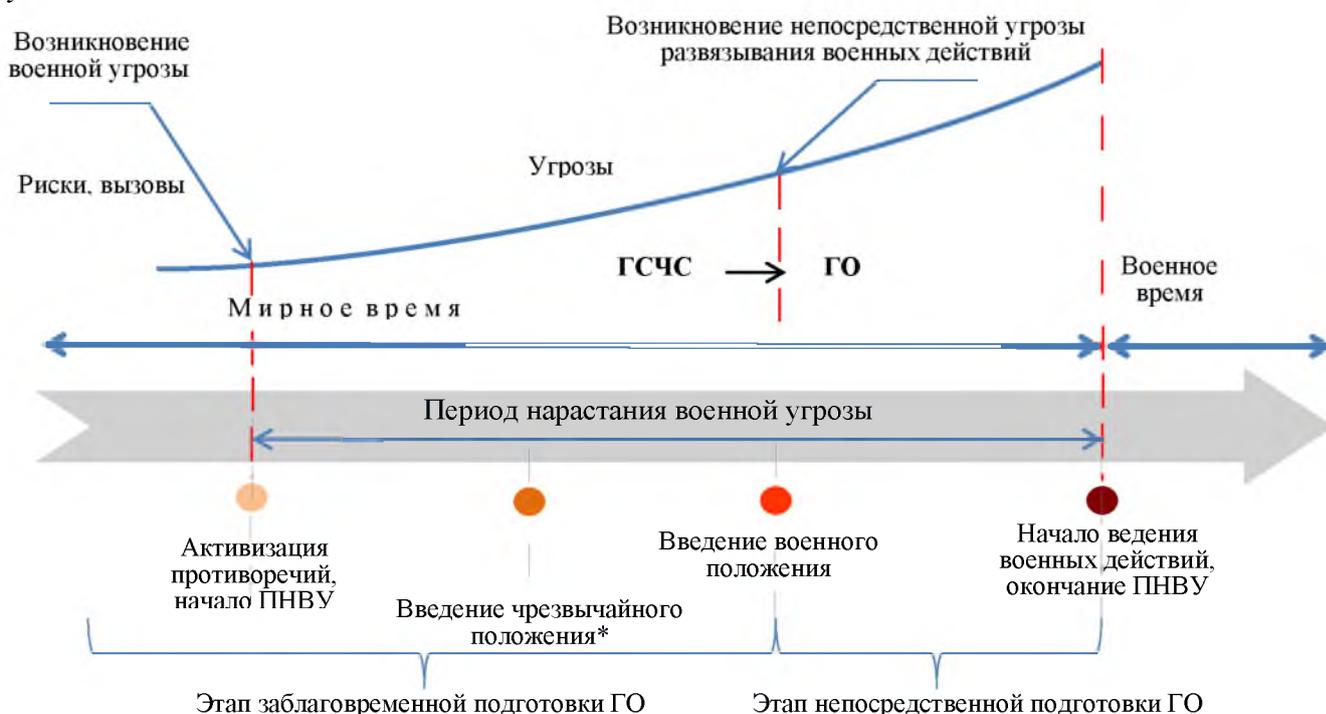
Вместе с тем С. В. Зась в работе [10] эскалацию военно-политической напряженности характеризует как процесс перехода рисков в вызовы, и вызовов в угрозы. Автор в понятие «военная опасность» включает «риски», «вызовы» и «угрозы», которые ее и образуют (рисунок 1).

Риски, вызовы и угрозы характеризуют уровень военной опасности. Каждый из перечисленных уровней имеет свои отличительные особенности и признаки. Выявление этих признаков в мирное время и идентификация военной опасности определяет принципиально новый период в подготовке как государства в целом, так и ГО в частности, к войне – ПНВУ. Сущность ПНВУ определяет пребывание противоборствующих сторон (государства (коалиции государств) или негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации) в состоянии перехода военной опасности в ее высший уровень – военную угрозу до начала ведения военных действий.

В ПНВУ предполагается проведение комплекса мероприятий по переводу экономики Республики Беларусь, государственных органов, местных исполнительных и распорядительных органов, предприятий, учреждений и организаций на работу в условиях военного времени, а также проведение войсковой мобилизации [8].

В связи с указанным выше, особое значение для военной безопасности государства приобретает перманентное выявление совокупности факторов, определяющих условия, при которых возникает военная угроза, а также когда военная угроза перерастает в непосредственную военную угрозу. Прогнозирование возникновения военной угрозы делает возможным до начала агрессии реализовать ряд мер по подготовке государства к ее отражению. При возникновении военных угроз объективная оценка их степени позволит своевременно проводить необходимые мероприятия для нейтрализации их источников.

ПНВУ охватывает часть времени от выявления ряда факторов, указывающих на наличие военной угрозы, до начала военных действий. Как правило, начало ПНВУ может быть обозначено принятием нормативных правовых актов в соответствии с законодательством Республики Беларусь. Периодизация обострения военной опасности и этапы выполнения подготовительных мероприятий ГО в ПНВУ как вариант приведены на рисунке 2.



\* – может не вводиться

Рисунок 2. – Периодизация обострения военно-политической обстановки и этапы выполнения подготовительных мероприятий гражданской обороны в период нарастания военной угрозы

Переводу ГО на работу в условиях военного времени предшествуют оценка ее состояния, определение недостающих ресурсов и уточнение потребности в них для выполнения задач по предназначению.

С введением военного положения на территории Республики Беларусь органы и элементы государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ГСЧС) трансформируются в ГО путем перевода ее на работу в условиях военного времени (таблица, составлено по [2, 9]).

Таблица – Трансформация органов и элементов государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в гражданскую оборону на различных уровнях

ГСЧС	ГО
<b>Координирующие органы</b>	
<p><i>Комиссии по чрезвычайным ситуациям</i> на территориальном уровне, охватывающем территорию области и г. Минска, – комиссии по чрезвычайным ситуациям при исполнительных и распорядительных органах областей и г. Минска; на местном уровне, охватывающем территорию района, города (района в городе), – комиссии по чрезвычайным ситуациям при исполнительных и распорядительных органах районов (городов); на объектовом уровне, охватывающем территорию конкретной организации, – комиссия по чрезвычайным ситуациям организации</p>	<p>Перестают функционировать, отдельные ее члены входят в состав Советов обороны соответствующих областей (г. Минска) и районов. Председатели указанных Советов обороны являются также начальниками ГО соответствующих административно-территориальных единиц</p>
<b>Органы управления</b>	
<p><i>Органы управления по чрезвычайным ситуациям</i> на территориальном уровне – областные и Минское городское управления Министерства по чрезвычайным ситуациям; на местном уровне – районные (городские) отделы по чрезвычайным ситуациям областных и Минского городского управлений Министерства по чрезвычайным ситуациям; на объектовом уровне – структурное подразделение (отдел, сектор) или специально назначенный работник для выполнения задачи в области защиты организаций от чрезвычайных ситуаций</p>	<p>Штабы ГО областей (г. Минска); штабы ГО районов (городов). Начальниками штабов ГО являются: штаб ГО области (г. Минска) – начальник областного (Минского городского) управления Министерства по чрезвычайным ситуациям; штаб ГО района (города) – начальник районного (городского) отдела по чрезвычайным ситуациям областного (Минского городского) управления Министерства по чрезвычайным ситуациям</p>
<b>Силы</b>	
<p><i>Силы ГСЧС</i>, включают в себя: подразделения по чрезвычайным ситуациям; территориальные и объектовые гражданские формирования ГО; организации здравоохранения и медицинские формирования, предназначенные для оказания медицинской помощи населению, пострадавшему при чрезвычайных ситуациях; организации ветеринарной службы и станций защиты растений Министерства сельского хозяйства и продовольствия; аварийно-спасательные службы республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, создающих</p>	<p>Силы ГСЧС организационно трансформируются в силы ГО и включают в себя: службы ГО; гражданские формирования ГО; сеть наблюдения и лабораторного контроля ГО. Органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям расширяются в соответствии с установленными штатами на военное время. Для выполнения мероприятий ГО могут привлекаться Воинские части и подразделения Вооруженных Сил Республики Беларусь, других войск и воинских формирований в порядке, определяемом Президентом Республики Беларусь</p>

<p>отраслевые подсистемы ГСЧС;          территориальные и объектовые аварийно-спасательные службы;          специализированные подразделения, создаваемые на базе объединений, организаций строительного комплекса.</p> <p>Решениями руководителей организаций могут создаваться нештатные аварийно-спасательные службы, предназначенные для ликвидации чрезвычайных ситуаций.</p> <p>По плану взаимодействия для ликвидации чрезвычайных ситуаций в установленном порядке могут привлекаться силы и средства Вооруженных Сил Республики Беларусь, других войск и воинских формирований</p>	
Средства	
<p><i>Средства ликвидации чрезвычайных ситуаций</i> включают в себя:</p> <p>средства связи и управления, аварийно-спасательную технику, оборудование, инструменты, средства индивидуальной защиты, снаряжение и другое имущество, а также методические материалы, видео-, кино-, фотоматериалы по технологии аварийно-спасательных и других неотложных работ при ликвидации чрезвычайной ситуации, информационные базы данных и иные средства, предназначенные для организации, проведения и обеспечения аварийно-спасательных работ</p>	<p>Используются средства ГСЧС, которые наращиваются до норм военного времени из Госрезерва и за счет других организаций по договорам отложенного исполнения.</p> <p>Средства ГО включают в себя: средства оповещения, связи и управления, радиационной, химической, биологической и медицинской защиты, жизнеобеспечения населения и иные материальные средства, аварийно-спасательную и другую технику, оборудование и приборы, служебных животных, предназначенных или привлекаемых для выполнения мероприятий ГО</p>
резервы материальных ресурсов	Такие же (номенклатура может изменяться по решению соответствующих начальников ГО)

Организацию перевода ГО на работу в условиях военного времени осуществляют Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, республиканские органы государственного управления и иные государственные организации, подчиненные Правительству Республики Беларусь. Разрабатывается план заблаговременной подготовки ГО, который является составной частью плана заблаговременной подготовки государства.

В общем виде заблаговременная подготовка ГО включает в себя:

подготовку системы управления;

подготовку системы оповещения и связи;

подготовку сил ГО и ее материально-техническое обеспечение;

подготовительные мероприятия по защите населения и территории от опасностей;

финансовое обеспечение мероприятий заблаговременной подготовки к ведению ГО.

Предлагается эти мероприятия проводить поэтапно в рамках общего перевода страны на работу в условиях военного времени в течение двух этапов: заблаговременной и непосредственной подготовки государства к обороне.

Мероприятия первого этапа целесообразно провести в рамках заблаговременной подготовки государства к обороне. Это обусловлено тем, что в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь [9] подготовка к проведению мероприятий ГО возложена на ГСЧС. Мероприятия второго этапа целесообразно выполнить в рамках непосредственной подготовки государства к обороне, т. е. с введением военного положения, когда вводятся в действие планы ГО (см. рисунок 2).

С учетом положений по организации и ведению ГО, изложенных в Законе Республики Беларусь [2], требуют уточнения понятия «подготовка ГО» и «ведение ГО». Так, в Законе [2]

указано, что ведение ГО осуществляется в соответствии с планами ГО, которые вводятся в действие на территории Республики Беларусь или в отдельных ее местностях полностью или частично с момента объявления войны, фактического начала военных действий или введения Президентом Республики Беларусь военного положения. Отсюда следует, что ведение ГО – это реализация ряда мероприятий, указанных в данных планах. Из чего можно заключить, что в ПНВУ до введения военного положения, в соответствии с действующим законодательством, ведение ГО не осуществляется. Вместе с этим ни в указанном выше Законе, ни в других нормативных правовых актах не регламентируется порядок подготовки ГО, на основании чего она должна проводиться и какие мероприятия в себя может включать. В Законе [2] лишь указано, что подготовка государства к ведению ГО осуществляется заблаговременно в мирное время. При этом в пункте 16 постановления Совета Министров Республики Беларусь [9] отмечается, что одной из основных задач комиссий по чрезвычайным ситуациям территориальных подсистем и их звеньев является «...участие в организации и осуществлении мер по подготовке к проведению мероприятий ГО».

На основании вышеизложенного видится обоснованным подготовить рекомендации, определяющие необходимый перечень мероприятий общей готовности и первоочередных мероприятий. Также необходимо сформировать перечень подготовительных мероприятий, которые необходимо реализовать силами ГСЧС с момента наступления ПНВУ до введения военного положения. Руководствуясь этими рекомендациями, с учетом содержания планирующих документов вышестоящих органов, а также местной специфики, советуемые органы управления по чрезвычайным ситуациям должны разработать планы заблаговременной подготовки ГО, а также уточнить содержание планов ГО. Это позволит реализовать единый обоснованный подход к подготовке мероприятий ГО, определить временные рамки их выполнения и в конечном счете повысить качество проведения подготовки ГО.

В связи с отсутствием формализованного перечня подготовительных мероприятий ГО, подлежащих выполнению с наступлением ПНВУ, нами проведен анализ различных источников [2, 5, 8, 9, 11], который позволяет сделать вывод, что к основным мероприятиям на начальном его этапе целесообразно отнести:

- введение повышенного или чрезвычайного (в зависимости от складывающейся обстановки) режима функционирования ГСЧС;
- проведение наблюдения за источниками чрезвычайных ситуаций, анализа и оценки их состояния, прогнозирование возможности возникновения и развития чрезвычайной ситуации;
- уточнение:
  - планов защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций областей (районов), городов, республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, и планов предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций организаций;
  - основных показателей и планов ГО;
  - планов поставок материальных ресурсов, продукции (работ, услуг) для обеспечения выполнения мероприятий по ГО, осуществляемых по мобилизационному плану экономики и поставка этих ресурсов;
  - номенклатуры материально-культурных ценностей, подлежащих эвакуации;
  - состава, задач и порядка работы должностных лиц, уполномоченных на решение задач в области ГО, и должностных лиц, входящих в составы оперативных групп, выводимых на запасные пункты управления;
  - порядка взаимодействия с республиканскими органами государственного управления и иными государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, и обмена информацией при выполнении мероприятий по ГО;

- согласование с органами военного управления маршрутов, порядка использования транспортных средств, техники и коммуникаций для проведения эвакуационных мероприятий;
- контроль готовности органов местных исполнительных и распорядительных органов власти и организаций к ведению ГО;
- проверка готовности систем связи и оповещения ГО;
- монтаж дополнительных средств оповещения (электросирен и громкоговорителей);
- подготовка безопасных районов для временного отселения населения;
- развертывание дополнительных больничных коек в учреждениях здравоохранения;
- подготовка мероприятий по жизнеобеспечению населения, защите сельскохозяйственных животных;
- проведение мероприятий по повышению устойчивости функционирования объектов экономики;
- детализация категорий населения, обеспечиваемых средствами индивидуальной защиты;
- приведение в готовность и наращивание фонда защитных сооружений ГО (строительство быстровозводимых защитных сооружений и доукомплектование имеющихся);
- проведение учений и тренировок с должностными лицами руководящего состава и органов управления ГО;
- перевод на усиленный вариант несения службы и работы сил ликвидации чрезвычайных ситуаций, дежурных и диспетчерских служб;
- приведение в состояние готовности, выдвижение при необходимости в предполагаемый район чрезвычайной ситуации сил и средств ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В случае введения чрезвычайного положения на территории Республики Беларусь или в ее отдельных местностях могут быть реализованы чрезвычайные меры и введены временные ограничения, применяемые в условиях чрезвычайного положения [11]. Основанием для введения чрезвычайного положения является наличие обстоятельств, представляющих непосредственную угрозу безопасности жизни и здоровья людей, территориальной целостности и существованию государства, устранение которых невозможно без применения чрезвычайных мер.

Как показывают проведенные исследования, на этапе непосредственной подготовки ГО к работе в условиях военного времени, при дальнейшем нарастании угрозы агрессии против Республики Беларусь, в интересах ГО целесообразно провести:

- постановку задач по непосредственной подготовке к выполнению запланированных мероприятий ГО;
- приведение в готовность сети наблюдения и лабораторного контроля;
- развертывание эвакуационных комиссий и временное отселение населения из зон возможного поражения;
- обеспечение определенных категорий населения средствами индивидуальной защиты;
- снижение запасов опасных веществ, обращающихся и (или) хранящихся на потенциально-опасных объектах, до допустимого технологическим процессом уровня;
- в случае введения чрезвычайного положения может быть приостановлена деятельность опасных производств и организаций (их перечень определяется указом Президента Республики Беларусь), в которых используются взрывчатые, радиоактивные, а также химически и биологически опасные вещества [11];
- снижение уровня воды в водохранилищах (аварийный водосброс);
- представление докладов о ходе непосредственной подготовки к выполнению запланированных мероприятий по ГО;
- наращивание мероприятий по повышению устойчивости функционирования объектов экономики.

Кроме того, на этом этапе осуществляется:

переход органов управления и сил ГСЧС в ГО;

органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям переходят на организационно-штатную структуру и режим работы военного времени;

оснащение необходимыми топливно-энергетическими, транспортными, материальными, финансовыми, трудовыми и мобилизационными людскими ресурсами, продуктами питания, другими товарами (работами, услугами), необходимыми для обеспечения ГО с учетом складывающейся обстановки.

Из вышеуказанного следует, что в ПНВУ с введением военного положения органы управления ГО должны перейти на организационно-штатную структуру и режим работы военного времени. Как показывает проведенный анализ, при этом они должны быть оснащены необходимыми средствами оповещения, связи, другими ресурсами и находиться в состоянии готовности к управлению и ведению ГО на территории страны. Пункты управления, места их дислокации, технические средства на пунктах управления целесообразно развернуть и привести в готовность к работе; силы и средства полностью укомплектовать личным составом, необходимой техникой и материально-техническими средствами и содержать их в готовности к выполнению задач по предназначению. Личный состав формирований должен быть готов к проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР). Конечной целью перевода ГО на работу в условиях военного времени является приведение ее в состояние, позволяющее решать задачи, перечисленные в Законе [2] как в военное время, так и в ПНВУ (с момента введения военного положения).

Учитывая специфику ПНВУ, для определения объемов АСДНР, работ по жизнеобеспечению пострадавшего населения, других мероприятий ГО, а также формирования потребности ГО в мобилизационных ресурсах первостепенное значение приобретает прогнозирование возможной обстановки. Такой прогноз должен учитывать возможность применения различных видов средств поражения, в том числе возможные действия ДРГ и НВФ. В связи с этим актуальной научной задачей является разработка научно обоснованного методического аппарата прогнозирования возможной обстановки, которая может сложиться в результате их действий.

Таким образом, как показывают проведенные исследования, для повышения качества подготовки мероприятий ГО в ПНВУ необходимо:

разработать рекомендации по подготовке ГО, детализирующие этапы ее проведения в мирное время, с наступлением ПНВУ и введением чрезвычайного или военного положений;

учитывая единство целевых функций и функциональных задач ГСЧС и ГО, а также скрытый характер использования военной силы, в ПНВУ произвести интеграцию ГСЧС и ГО в единую систему реализации защитных мероприятий – Государственную систему гражданской защиты;

разработать научно обоснованный методический аппарат прогнозирования возможной обстановки, которая может сложиться в результате действий ДРГ и НВФ.

Это позволит:

оценить вероятные действия ДРГ и НВФ, а также определить возможные масштабы и характер последствий от этих действий;

детализировать объемы и содержание задач подготовки мероприятий по защите от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, сроки их выполнения, а также уточнить мероприятия по взаимодействию и всестороннему их обеспечению;

определить виды, объемы и сроки проведения мероприятий ГО в зависимости от степени военной опасности;

сформировать потребность в необходимых ресурсах (силах, функциональных технических системах, объектах, материально-технических и других средствах);

произвести своевременное развертывание необходимых сил и средств и выполнение ими задач по предназначению.

## Список литературы

1. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь от 09 нояб. 2010 г. № 575 : в ред. Указов Президента Респ. Беларусь от 30 дек. 2011 г. № 621; от 24 янв. 2014 г. № 49 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.
2. О гражданской обороне: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183-3 : в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2009 г. № 114-3 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.
3. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412-3 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.
4. Ермаков, С. М. Американские вооруженные силы в Европе: от глобального базирования к глобальному присутствию / С. М. Ермаков // Проблемы национальной стратегии. – М.:РИСИ. – 2010. – № 4. – С. 99–118.
5. Владимиров, В. А. Современная война и гражданская оборона / В. А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – № 1. – С.471–481.
6. Гацко, М. Ф. Сущность понятий «угроза» и «опасность» и их соотношение в военно-политической сфере / М. Ф. Гацко // Национальная безопасность и геополитика России. – 2001. – № 4–5 (21–22). – С. 130.
7. Гагарин, В. Г. Об угрожаемом периоде / В. Г. Гагарин // Обозреватель : ежемесяч. инф.-аналит. журн. – 2005. – № 8. – С. 38–42.
8. О мобилизационной подготовке и мобилизации: Закон Респ. Беларусь, 26 окт. 2000 г., № 499-3 : в ред. Законов Респ. Беларусь от 16.05.2001 г. № 23-3, от 06.01.2009 г. № 8-3, от 04.01.2012 г. № 338-3, // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.
9. О Государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 10 апр. 2001 г., № 495 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.
10. Зась, С. В. Национальная безопасность Республики Беларусь / С. В. Зась. – Минск: Бел. наука, 2011. – 557 с.
11. О чрезвычайном положении: Закон Респ. Беларусь, 24 июн. 2002 г., № 117-3 : в ред. Законов Респ. Беларусь от 21.07.2008 г. № 417-3, от 06.01.2009 № 8-3, от 31.12.2009 г. № 114-3 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2017.

---

\* Сведения об авторах:

Бордак Сергей Сергеевич,  
 Субботин Михаил Николаевич,  
 Университет гражданской защиты МЧС Беларуси.  
 Статья поступила в редакцию 23.01.2017 г.

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЗЕНИТНОЙ РАКЕТНОЙ БРИГАДЫ

В. Л. Буяновский;

И. В. Клименков, кандидат военных наук, доцент\*

*В статье предлагается новый подход к оценке эффективности управления техническим обеспечением зенитной ракетной бригады как способ совершенствования существующих методик оценки эффективности, применяемых на одном из этапов определения пути совершенствования управления ее техническим обеспечением.*

*The article proposes a new approach to assessing the effectiveness of managing the technical support of an anti-aircraft missile brigade as a way to improve existing methods of assessing efficiency, applied at one of the stages of determining the direction of improving the management of its technical support.*

Военные конфликты последних лет свидетельствуют о том, что будущие войны будут отличаться предельной напряженностью, носить высокоманевренный, воздушно-наземный характер с ведением взаимосвязанных боевых действий в воздушном пространстве и на суше. В этих условиях средствам воздушного нападения будет отводиться решающая роль в наступательных действиях. Сорвать их возможно, лишь обеспечив эффективную противовоздушную оборону войск и объектов. Поэтому в Республике Беларусь, принимая во внимание ее геостратегическое положение и геополитические процессы, происходящие в Украине, Центральной и Восточной Европе, совершенствованию системы противовоздушной обороны придается одно из первоочередных значений. Одним из основных элементов этой системы является зенитная ракетная бригада (зрбр). В свою очередь, результаты действий зрбр зависят от эффективности всех видов обеспечения. Одно из важнейших мест во всестороннем обеспечении боевых действий зрбр занимает техническое обеспечение (ТехО). От качества управления ТехО (УТехО) зависит степень реализации возможностей его сил и средств [1, с. 61; 2]. В связи с этим совершенствование УТехО зрбр является актуальной задачей научно-исследовательской деятельности.

В настоящее время предложено множество подходов к порядку определения приемлемого способа совершенствования управления [1, с. 201; 3; 4, с.147]. Рассмотрение положений, имеющих в этих подходах, показывает, что применительно к УТехО зрбр для определения пути его совершенствования необходимо:

1. Проанализировать условия и факторы, воздействующие на УТехО зрбр, и определить возможные способы повышения его эффективности.
2. Произвести оценку достигаемого повышения (прироста) эффективности УТехО при использовании каждого из предлагаемых способов.
3. Определить необходимые мероприятия по реализации соответствующего способа повышения эффективности УТехО.
4. Выбрать приемлемый способ совершенствования УТехО, сравнив достигаемое повышение (прирост) эффективности с «затратами» на обеспечение его реализации.

В ходе реализации каждого из этапов представленного подхода к определению приемлемого способа совершенствования УТехО зрбр возникает ряд проблем, среди которых можно отметить следующие:

– несовершенство существующих методик оценки эффективности [5; 6; 7] для их применения при оценке эффективности УТехО. Оно выражается в отсутствии в них учета важнейших частных показателей оценки эффективности УТехО и влияния на них условий и факторов;

– рассмотрение УТехО часто ограничивается деятельностью органов управления по принятию решения по ТехО, при этом опускаются другие важнейшие функции управления, присущие УТехО;

– наличие противоречий, возникающих между необходимостью повышения эффективности УТехО и «затратами» на осуществление способа, обеспечивающего это повышение.

В статье рассматриваются первые две из этих проблем. Их решение предлагается осуществлять использованием нового подхода к оценке эффективности УТехО збр. Основные этапы предлагаемого подхода к оценке эффективности ТехО ( $E_3$ ) и его отличия от применяемых ранее ( $E_1, E_2$ ) представлены на рисунке 1.

При оценке эффективности УТехО предлагается использовать такие частные показатели, как степень реализации возможностей сил и средств ТехО ( $P_1$ ), оперативность ( $P_2$ ), непрерывность ( $P_3$ ), устойчивость ( $P_4$ ) и скрытность ( $P_5$ ). Выделение данных показателей обусловлено необходимостью учета [4, с. 12] при оценке эффективности УТехО степени достижения его общей цели и соблюдения предъявляемых к нему требований [8].

В соответствии с [9] основной целью УТехО выступает максимальное использование возможностей сил и средств ТехО для выполнения поставленных задач в установленные сроки и в любых условиях обстановки. Поэтому степень достижения этой цели может быть выражена степенью реализации потенциальных возможностей сил и средств ТехО как одним из частных показателей эффективности УТехО, безразмерной величины. Порядок его расчета следующий:

$$P_1 = \frac{W_{\text{ТехО}}^p}{W_{\text{ТехО}}^0}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{ТехО}}^p$ ,  $W_{\text{ТехО}}^0$  – реализуемые и соответственно потенциальные возможности сил и средств ТехО по выполнению поставленных задач в конкретных условиях обстановки.

Реализацию возможностей сил и средств ТехО принято оценивать достигаемым коэффициентом боевой готовности. Такое выражение обусловлено необходимостью соблюдения принципа системного подхода к УТехО, когда цель УТехО как подсистемы должна определяться целью включающей ее системы ТехО [10].

Оперативность является одним из важнейших требований, предъявляемых к УТехО. Степень соответствия УТехО этому требованию предлагается оценивать величиной одного из частных показателей его эффективности – оперативностью УТехО. Данный показатель характеризуется своевременностью выполнения функций УТехО, следовательно может быть выражен вероятной длительностью цикла УТехО. Циклом УТехО збр является временной отрезок от момента возникновения изменений в обстановке либо получения новой задачи от старшего начальника до принятия решения по ТехО соединения и постановки задачи подчиненным. Предъявляемым к нему критерием является соответствие балансу времени, заключающемуся в сопоставлении требуемого времени ( $t_{\text{треб}}$ ) с располагаемым ( $t_{\text{расп}}$ ), когда первое не должно превышать второе и стремиться к минимуму:

$$\left. \begin{array}{l} t_{\text{треб}} \leq t_{\text{расп}} \\ t_{\text{треб}} \rightarrow \min \end{array} \right\} \quad (2)$$

При этом требуемое время выражает продолжительность цикла УТехО, а располагаемое – выделенный старшим начальником временной отрезок на выполнение мероприятий, составляющих этот цикл УТехО. Порядок расчета вероятности соблюдения условия баланса времени, с учетом процедуры нормирования, определен, представлен в [11, с. 53] и может применяться в ходе расчета оперативности УТехО:

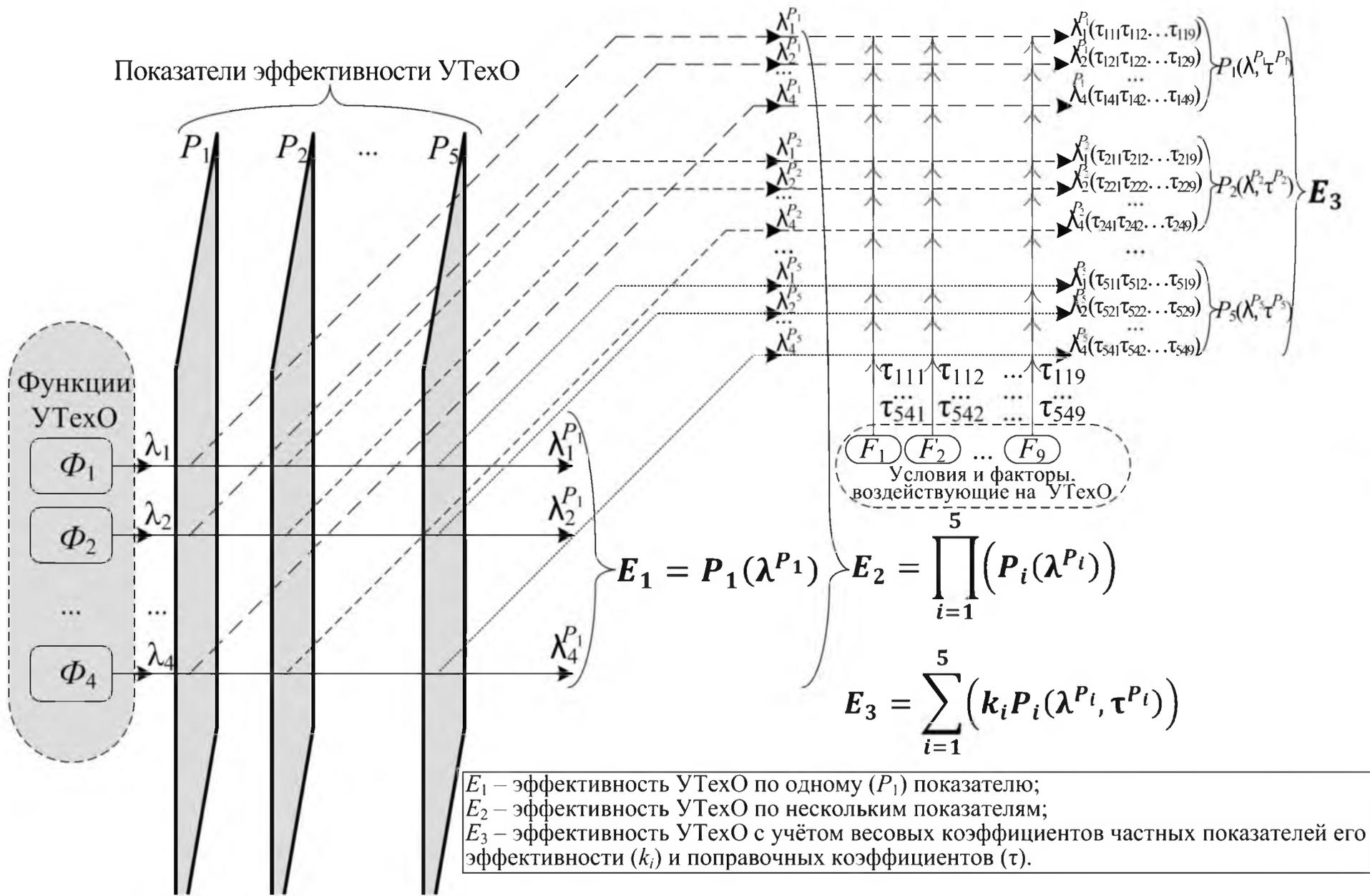


Рисунок 1. – Схема реализации различных подходов к оценке эффективности управления техническим обеспечением

$$P_2 = P(t_{\text{треб}} \leq t_{\text{расп}}) = F\left(\frac{t_{\text{расп}} - M[t_{\text{треб}}]}{\sigma(t_{\text{треб}})}\right), \quad (3)$$

где  $\sigma(t_{\text{треб}})$  – среднее квадратическое отклонение времени, требуемого на УТехО;  
 $M(t_{\text{треб}})$  – математическое ожидание времени, требуемого на УТехО.

Таким образом, оперативность УТехО, как один из частных показателей его эффективности, определяется значением выражения (3).

Непрерывность, устойчивость и скрытность являются обязательными требованиями, предъявляемыми к УТехО [8]. Степень соответствия УТехО этим требованиям предлагается оценивать величинами таких частных показателей его эффективности, как непрерывность, устойчивость и скрытность УТехО. В свою очередь непрерывность УТехО характеризуется способностью органов УТехО в любой момент времени оказывать необходимое целенаправленное воздействие на подчиненные силы и средства, устойчивость УТехО – способностью системы УТехО успешно функционировать в любых условиях обстановки, а скрытность УТехО – сохранностью в тайне от противника структуры системы УТехО, содержания циркулирующей в ней информации, а также планируемых и выполняемых мероприятий. Порядок их расчета подробно описан в работах, посвященных количественной оценке непрерывности функционирования систем [12], устойчивости систем управления [13] и показателей качества системы управления войсками [14], и может практически в неизменном виде применяться при определении соответствующих частных показателей эффективности УТехО.

Таким образом, выделены частные показатели эффективности УТехО, позволяющие при ее оценке осуществить учет как степени достижения главной цели УТехО, так и соблюдения требований, предъявляемых к нему. Однако проведенные расчеты будут соответствовать действительности лишь в случае учета влияния условий и факторов, оказывающих воздействие на УТехО. При этом в ходе анализа их влияния необходимо рассматривать содержание УТехО как совокупность выполняемых органами УТехО функций управления, не ограничиваясь лишь процессом принятия решения. Данная необходимость продиктована оказанием существенного влияния конкретных составляющих условий и факторов лишь на определенные функции управления, причем оно различно для каждого из предлагаемых частных показателей эффективности УТехО. В целях обеспечения учета этого влияния предлагается использовать систему поправочных коэффициентов ( $\tau$ ), применяемых при расчете каждого из частных показателей эффективности УТехО. Она представлена на рисунке 2 в виде трехмерной матрицы. Эти коэффициенты определяют зависимость функций УТехО для каждого из частных показателей его эффективности от величины условий и факторов, влияющих на УТехО.

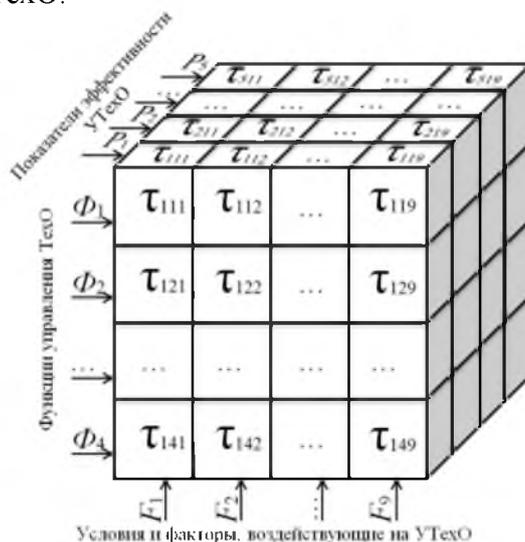


Рисунок 2. – Матрица поправочных коэффициентов учета влияния условий и факторов на управление техническим обеспечением

В качестве функций управления, рассматриваемых при оценке эффективности УТехО, необходимо из всей их совокупности, представленной в [7], отобрать те, влияние условий и факторов на которые возможно подвергнуть оценке и охарактеризовать в виде соответствующих коэффициентов. К таким функциям управления ( $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_4$ ) относятся [7; 8]:

- непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение, обобщение, анализ и оценка данных боевой, технической и тыловой обстановки;
- принятие решения по ТехО;
- постановка задач войскам, подчиненным органам ТехО, и контроль их выполнения;
- планирование ТехО.

В ходе определения рассматриваемых при оценке эффективности УТехО условий и факторов их целесообразно классифицировать как внешние и внутренние. Внешние факторы возникают и существуют, оказывая влияние на УТехО по не зависящим от органов его осуществляющих причинам, являясь необратимым следствием протекающих в действительности различных процессов. Органы управления способны лишь предугадать возможность возникновения внешних факторов и оценить их предполагаемое влияние на процесс УТехО. Наряду с внешними факторами наибольший интерес вызывают внутренние, так как эти факторы и их влияние возможно не только детально проанализировать, но и, подвергнув оценке, разработать существенные рекомендации органам управления по снижению негативного и повышению положительного их воздействия на УТехО.

Проведя факторный анализ характера и степени влияния на УТехО збр [15] условий и факторов, выделенных в работах [11; 16; 17], определено, что из их внешней группы следует опустить те, воздействие которых непосредственно на УТехО не выявлено, а некоторые объединить, учитывая их влияние за счет различных показателей учета воздействия противника, состояния системы УТехО, времени, отводимого на УТехО, и уровня подготовки органов УТехО. Таким образом, условия и факторы, оказывающие непосредственное влияние на УТехО збр, определены и представлены на рисунке 3.

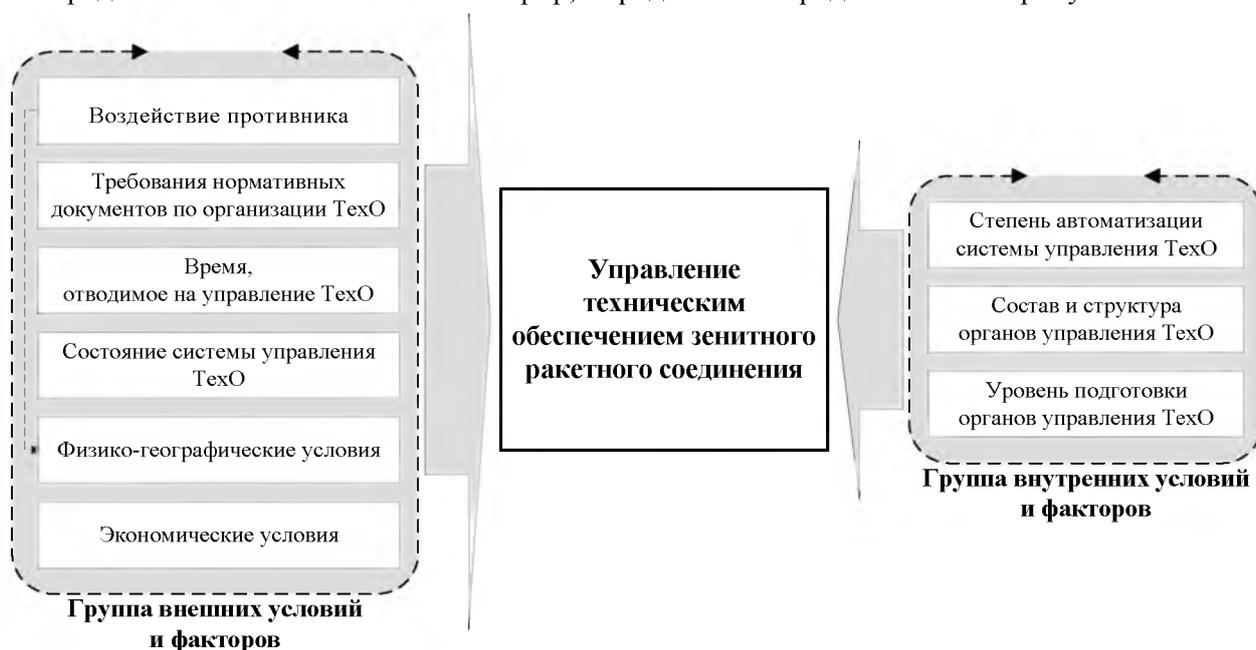


Рисунок 3. – Условия и факторы, влияющие непосредственно на управление техническим обеспечением зенитных ракетных соединений

В ходе анализа влияния каждой составляющей условий и факторов ( $F_1, F_2, \dots, F_9$ ) на отдельные функции управления ( $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_4$ ), выражающиеся в управляющих воздействиях органов УТехО ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_4$ ) и используемые в рассчитываемом показателе эффективности ( $P_1, P_2, \dots, P_5$ ), определяются значения поправочных коэффициентов ( $\tau_{111}, \tau_{112}, \dots, \tau_{549}$ ) (рисунок 1, 2). Аналитически определенные эти коэффициенты подтверждаются

конфирматорным факторным анализом в ходе КШУ и КШТ. В ходе расчета каждого из частных показателей эффективности УТехО выделяется характеризующая его величина  $(\lambda_1^{P_1}, \lambda_2^{P_2}, \dots, \lambda_4^{P_5})$ , подверженная изменению за счет влияния условий и факторов, к которой и применяются полученные поправочные коэффициенты.

Получение обобщенного показателя эффективности УТехО связано с проблемой взаимной несогласованности его частных показателей. Так, повышение степени реализации сил и средств ТехО по выполнению поставленных задач в большинстве случаев ведет к снижению оперативности УТехО. Учет этого взаимовлияния достигается за счет использования вышеописанных поправочных коэффициентов ( $\tau$ ) при расчете каждого из частных показателей эффективности УТехО.

Учет степени важности каждого из частных показателей эффективности УТехО предусматривается реализовать применением весовых коэффициентов ( $k_i$ ). В свою очередь их значения предлагается получить одним из эвристических методов, в частности методом экспертных оценок, причем сумма этих коэффициентов для всех частных показателей должна составлять единицу. Использование данных весовых коэффициентов позволит применять при оценке эффективности УТехО ее обобщенный показатель [18], представляемый в виде

$$E_3 = \sum_{i=1}^5 (k_i P_i), P_i^{\min} < P_i \leq 1, \sum_{i=1}^5 k_i = 1, P_i = f\{\lambda^{P_i}, \tau^{P_i}\} \quad (4)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_5$  – показатели степени реализации возможностей сил и средств ТехО по выполнению поставленных задач, оперативности, непрерывности, устойчивости и скрытности УТехО соответственно;

$P_1^{\min}, P_2^{\min}, \dots, P_5^{\min}$  – минимальные значения соответствующих частных показателей эффективности УТехО, при которых система УТехО будет эффективна;

$k_1, k_2, \dots, k_5$  – весовые коэффициенты степени влияния соответствующих частных показателей эффективности УТехО на ее обобщенный показатель;

$\lambda^{P_i}$  – совокупность управляющих воздействий органов УТехО при выполнении каждой из функций управления, выраженная в величине, характеризующей  $i$ -й частный показатель эффективности УТехО;

$\tau^{P_i}$  – матрица поправочных коэффициентов учета влияния условий и факторов на  $i$ -й частный показатель эффективности УТехО.

Таким образом, отличие предлагаемого подхода к оценке эффективности УТехО зрбр от применяемых ранее заключается в использовании частных показателей его эффективности, позволяющих добиться учета как степени достижения главной цели УТехО, так и соблюдения основных требований, предъявляемых к нему. Обоснована необходимость разработки и использования системы поправочных коэффициентов ( $\tau$ ), определяющих зависимость функций управления для каждого из частных показателей его эффективности от условий и факторов, воздействующих на УТехО. Их использование также позволяет учесть несогласованность частных показателей эффективности УТехО, внося взаимозависимость их значений. Применение весовых коэффициентов ( $k_i$ ) позволяет осуществить учет степени важности частных показателей эффективности УТехО при расчете ее обобщенного показателя.

Использование предлагаемого подхода к оценке эффективности УТехО зрбр позволяет:

1. Проводить оценку эффективности УТехО с «привязкой» к условиям и факторам, воздействующим на УТехО.
2. Определить приоритетность факторов, на которые следует воздействовать в целях повышения эффективности УТехО.

3. Сформулировать для каждого из частных показателей эффективности УТехО область множества вариантов ее повышения.
4. Повысить достоверность оценки эффективности УТехО за счет учета воздействия условий и факторов.
5. Разрешить противоречия, возникаемые в ходе определения рационального направления дальнейшего совершенствования как УТехО збр, так и ее ТехО в целом.

#### Список литературы

1. Основы теории управления войсками / П. К. Алтухов [и др.] ; под ред. П. К. Алтухова. – М.: Воениздат, 1984. – 214 с.
2. Государственное и военное управление. Основы теории военного управления : учеб. / В. Г. Шумилов [и др.] ; под общ. ред. И. Н. Печеня. – Минск: ВА РБ, 2011. – 372 с.
3. Кузнецов, Н. Ф. Некоторые аспекты совершенствования системы управления общевойскового формирования нового облика / Н. Ф. Кузнецов, А. Л. Расчислов // Воен. мысль. – 2010. – № 6. – С.11–15.
4. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования: учеб. пособие / В. М. Булойчик. – Минск: ВА РБ, 2000. – 188 с.
5. Колодяжный, В. В. Оценка эффективности применения средств автоматизации планирования боевых действий войск ПВО / В. В. Колодяжный // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 1. – С. 8–13.
6. Шостак, В. Г. Повышение эффективности системы автотехнического обеспечения территориальных войск при выполнении ими задач территориальной обороны : дис. ... канд. воен. наук : 20.01.02 / В. Г. Шостак. – Минск : ВА РБ, 2010. – 120 л.
7. Дорошенко, М. Р. Методика оценки эффективности управления техническим обеспечением авиации ВВС / М. Р. Дорошенко, А. М. Сафин, И. А. Чижов // Вестн. Акад. воен. наук. – 2015. – № 50. – С. 108–112.
8. Руководство по техническому обеспечению боевых действий. – Минск, 2005. – 201 с.
9. Техническое обеспечение подразделений в бою : учеб. пособие / Г. А. Осипов [и др.]. – Минск : ВА РБ, 2009. – 142 с.
10. Чернышев, В. О. Принципы и концептуальные основы системного подхода: учеб. пособие / В. О. Чернышев. – Красноярск : Красноярский ин-т космической техники, 1992. – 95 с.
11. Ивчик, О. А. Повышение эффективности планирования технического обеспечения войск оперативного объединения в оборонительной операции : дис. ... канд. воен. наук : 20.01.02 / О. А. Ивчик. – Минск : ВА РБ, 2009. – 163 л.
12. Золотарев, В. М. Количественные оценки свойства непрерывности систем / В. М. Золотарев // Теория вероятности и ее применение / Мат. ин-т им. В. А. Стеклова Российской акад. наук ; редкол.: А. С. Холево (гл. ред.) [и др.]. – М., 1977. – Т. 22. – Вып. 4. – С.700–711.
13. Васильев, К. К. Теория автоматического управления : учеб. пособие / К. К. Васильев. – Ульяновск, 2001. – 98 с.
14. Замятин, В. М. Подход к оценке показателей качества системы управления войсками / В. М. Замятин // Проблемы теории и практики управления. – 2009. – № 1. – С. 47.
15. Буяновский, В. Л. Анализ условий и факторов, влияющих на управление техническим обеспечением зенитной ракетной бригады / В. Л. Буяновский, И. В. Клименков // Обеспечение военной безопасности государства : проблемы и перспективы : сб. тез. докл. Междунар. воен.-науч. конф. Воен. акад. Респ. Беларусь / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – С. 77.
16. Клименков, И. В. Повышение эффективности автотехнического обеспечения войск оперативно-тактического командования военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны при ведении боевых действий : дис. ... канд. воен. Наук : 20.01.02 / И. В. Клименков. – Минск : ВА РБ, 2010. – 254 л.

17. Шостак, В. Г. Повышение эффективности системы автотехнического обеспечения территориальных войск при выполнении ими задач территориальной обороны : дис. ... канд. воен. наук : 20.01.02 / В. Г. Шостак. – Минск : ВА РБ, 2010. – 120 л.

18. Коломоец, Ф. Г. Основы системного анализа и теории принятия решения : пособие / Ф. Г. Коломоец. – Минск : Тесей, 2006. – С. 183–184.

---

\*Сведения об авторах:

Буяновский Виктор Леонидович,

Клименков Игорь Васильевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 21.02.2017 г.

## ОСМЫСЛЕНИЕ ВОЕННОГО АСПЕКТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ В КОНТЕКСТЕ ВОЕННОЙ ДОКТРИНЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С. В. Верлуп, кандидат юридических наук, доцент,  
профессор АВН Российской Федерации\*

*В статье рассматриваются подходы к осмыслению и определению путей решения проблемы, связанной с обеспечением национальной безопасности Республики Беларусь на Государственной границе в военной сфере, согласно положениям Военной доктрины Республики Беларусь*

*This article exposed the approaches of conceptualization and definition to a problem solution of the national security of the Republic of Belarus on the State border in the military sphere according to the regulations of the Military Doctrine of the Republic of Belarus*

В Концепции национальной безопасности Республики Беларусь (далее – Концепция) перспективы состояния военной составляющей определяются с позиций того, что тенденции развития Европейского региона свидетельствуют об отсутствии в настоящее время военной угрозы Республике Беларусь. Вместе с тем для нашей страны сохраняется военная опасность на уровне рисков и вызовов, обусловленная наличием объективно существующих источников военной угрозы [1]. Подтверждением этому являются «... наращивание военного потенциала НАТО вдоль западных границ Беларуси... растущее количество мероприятий подготовки сил Североатлантического союза, усиление разведывательной деятельности, развертывание военных объектов на территории Польши и стран Балтии», позволяющие полагать, что «Запад целенаправленно продолжает делать ставку на военную силу для обеспечения своих геополитических интересов» [2].

В указанных условиях важной мерой совершенствования теоретико-методологических основ вооруженной защиты нашей страны, стало принятие в 2016 году новой Военной доктрины Республики Беларусь (далее – Военная доктрина) [3], положения которой должны быть творчески осмыслены всеми силами (субъектами) системы обеспечения национальной безопасности. Речь идет о том, что ряд положений напрямую затрагивает вопросы, связанные с решаемыми этими силами (субъектами) задачами по предназначению в интересах обеспечения военной безопасности, в том числе и пограничным ведомством в сфере его ответственности и правовых полномочий – на Государственной границе и в приграничной территории.

Необходимо отметить, что в отношении состояния разработки проблемы обеспечения пограничным ведомством национальной безопасности Республики Беларусь на Государственной границе, в том числе и военного аспекта, выработан и теоретически обоснован ряд приоритетных направлений ее решения, соответствующих научно-методологическим и организационно-правовым подходам Концепции и Военной доктрины [4–8], а также реальные пути и предложения по их практической реализации.

Одним из актуальных направлений представлялось своевременное осмысление и решение проблемы, связанной с выработкой подходов к уточнению функций и задач пограничного ведомства, затрагивающих и связанных с участием в обеспечении военной безопасности. В то же время принятие новой Военной доктрины, результаты анализа ее методологических положений, а также реалий военно-политической обстановки в мире и регионе убедительно доказывают, что сегодня недостаточно просто обозначить указанную проблему, а необходимо конкретизировать и предложить обоснованные пути

организационно-управленческой деятельности. Для этого требуется решение следующих взаимно обусловленных научных задач:

1. Анализ перечня общих функций по предназначению сил (субъектов) обеспечения национальной безопасности, установленных в [1, 3], и на этой основе конкретизация задач пограничного ведомства в сфере военной безопасности, вытекающих из основополагающих подходов Военной доктрины.

2. Выработка и обоснование методов, обеспечивающих продуктивную реализацию вышеуказанного вопроса.

По нашему мнению, рассматриваемая проблема и вытекающие из нее задачи должны осмысливаться и решаться на основе системного анализа опасностей, угроз, рисков и вызовов, определенных в [1, 3] с точки зрения их прямого отражения на состоянии национальной безопасности Республики Беларусь на Государственной границе применительно развития трех основных вариантов обстановки:

а) в условиях мирного времени (повседневной охраны Государственной границы);  
б) период нарастания военной угрозы (до начала военного конфликта);  
в) военное время (в ходе военных конфликтов) по принципу: внешние и внутренние факторы (опасности), их отражение в виде рисков, вызовов угроз на Государственной границе и приграничной территории, соответствующие меры и задачи, требующие решения пограничным ведомством сообразно назначению, полномочиям и компетенциям.

Руководствуясь предлагаемым подходом, попытаемся уточнить и сформулировать основные задачи пограничного ведомства в контексте обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь на Государственной границе в военной сфере в мирное время, объективно возникающие исходя из Военной доктрины.

Считаем, что сущность таких задач должна осмысливаться с позиций диалектического единства двух аспектов:

1. Обязательное участие пограничного ведомства в совместной с Вооруженными Силами Республики Беларусь защите на Государственной границе и приграничной территории от военных угроз, направленных против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя Республики Беларусь как на стадии возникновения таких угроз, так и в период их реализации.

Полагаем, что в этом контексте к числу основных задач пограничного ведомства в указанный период правомерно отнести:

а) вооруженное противодействие на государственной границе и приграничной территории реализации другими государствами (коалициями государств), а также негосударственными субъектами, включая террористические и экстремистские организации, указанной деятельности;

б) выявление и пресечение на государственной границе и приграничной территории разведывательной деятельности других государств (коалиций государств), а также негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации;

в) участие в поддержании введенного на территории Республики Беларусь чрезвычайного или военного положения, полной или частичной мобилизации;

г) организация и проведение мероприятий по усилению охраны и защиты Государственной границы Республики Беларусь;

д) содействие в организации на приграничной территории мероприятий по планам территориальной и гражданской обороны, а также режимных мер Вооруженных Сил и правоохранительных органов сообразно складывающейся обстановке.

2. Своевременное выявление (обнаружение и распознавание), совместно с взаимодействующими силами (субъектами) обеспечения национальной безопасности, признаков военных опасностей, угроз рисков и вызовов Республике Беларусь в условиях мирного времени (повседневной охраны государственной границы) как предпосылок возникновения военных опасностей.

Модель системы таких признаков предлагается проектировать путем разработки следующей таблицы.

<p><b>Основные военные опасности как факторы угроз, рисков и вызовов военной безопасности</b> (на основе Военной доктрины Республики Беларусь)</p>	<p><b>Задачи, требующие решения согласно назначению, полномочиям и компетенциям пограничного ведомства</b></p>
<p>11.2. Распространение оружия массового уничтожения (ОМУ), его компонентов и технологий производства, особенно размещение их на территориях государств, сопредельных с Республикой Беларусь</p> <p>11.4. Усиление ударно-наступательных возможностей государств (коалиций государств), в том числе по одностороннему созданию стратегических систем противоракетной обороны, высокоточного оружия в неядерном снаряжении для нанесения ударов по войскам (силам) и инфраструктуре Республики Беларусь в условиях глобальной досягаемости, ведущее к нарушению сложившегося баланса сил, а также наращивание на территориях государств, сопредельных с Республикой Беларусь, их военной инфраструктуры</p> <p>11.6. Возникновение очагов вооруженных конфликтов и их эскалация с задействованием возможностей сил специальных операций, частных военных компаний и незаконных вооруженных формирований на территориях государств, сопредельных с Республикой Беларусь, вследствие отработки механизмов неконституционного способа смены действующей государственной власти</p> <p>11.8. Наращивание вблизи Государственной границы Республики Беларусь масштабных осуществляемых без предварительного уведомления Республики Беларусь мероприятий по оперативной и боевой подготовке вооруженных сил других государств (коалиций государств), имеющих наступательный характер, с отработкой вопросов планирования и ведения крупномасштабных военных операций в Европейском регионе</p> <p>11.9. Создание и функционирование в государствах (коалициях государств) специальных военизированных формирований для ведения действий в информационном пространстве по оказанию деструктивного информационного воздействия на население, органы государственного и военного управления, инфраструктуру Республики Беларусь</p>	<p>Выявление признаков размещения ОМУ на приграничных территориях сопредельных государств</p> <p>Выявление признаков наращивания (количественного и качественного увеличения) на приграничных территориях сопредельных государств военной инфраструктуры</p> <p>Выявление признаков, характера и субъектов деятельности, связанной с возникновением на приграничных территориях сопредельных государств очагов вооруженных конфликтов, а также механизмов неконституционного способа смены действующей государственной власти</p> <p>Выявление признаков наращивания на приграничных территориях сопредельных государств мероприятий по оперативной и боевой подготовке собственных вооруженных сил, а также других государств (коалиций государств), имеющих наступательный характер</p> <p>Выявление признаков создания и мониторинг деятельности специальных военизированных формирований, дислоцированных на приграничных территориях сопредельных государств и предназначенных для оказания деструктивного информационно-психологического воздействия на население, органы государственного и военного управления, инфраструктуру приграничных районов Республики Беларусь</p>

<p>11.10. Деятельность государств (коалиций государств), а также негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации, по подготовке незаконных вооруженных формирований для дестабилизации обстановки в Республике Беларусь</p> <p>12.2. Существенное повышение уровня преступности на территории Республики Беларусь, рост нелегальной миграции в страну и транзита нелегальных мигрантов через ее территорию, способствующие незаконному обороту оружия и боеприпасов, которые могут быть использованы для осуществления актов терроризма и иных противоправных действий</p> <p>2.3. Создание на территории Республики Беларусь террористических и экстремистских организаций, организация ими подготовки их членов для действий в составе незаконных вооруженных формирований для осуществления актов терроризма и иных противоправных действий по дестабилизации обстановки в Республике Беларусь, в том числе в целях развязывания внутреннего вооруженного конфликта</p> <p>13.1. Концентрация вооруженных сил другого государства (коалиции государств) вдоль Государственной границы Республики Беларусь, указывающая на реальное намерение применить военную силу против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя Республики Беларусь</p> <p>13.3. Проведение в другом государстве (коалиции государств) мобилизации в целях нападения (акта вооруженной агрессии) на Республику Беларусь (далее – нападение)</p> <p>13.5. Иная деятельность, включая заявления и демонстрацию силы, другого государства (коалиции государств), а также негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации, расположенных на территории другого государства (других государств), осуществляемая в нарушение Устава ООН и указывающая на подготовку к нападению или развязывание внутреннего вооруженного конфликта</p>	<p>Выявление признаков создания на приграничных территориях сопредельных стран и мониторинг деятельности государственных, а также негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации, связанной с подготовкой незаконных вооруженных формирований для дестабилизации обстановки в Республике Беларусь</p> <p>Содействие взаимодействующим силам (субъектам) обеспечения национальной безопасности в пределах полномочий в вопросах выявления, предупреждения и пресечения на приграничной территории преступлений, противодействия нелегальной миграции в страну и транзита нелегальных мигрантов через ее территорию как предпосылок незаконного оборота оружия и боеприпасов, осуществления актов терроризма и иных противоправных действий</p> <p>Выявление признаков создания на приграничной территории Республики Беларусь террористических и экстремистских организаций в целях подготовки для действий в составе незаконных вооруженных формирований, осуществления актов терроризма и иных противоправных действий по дестабилизации обстановки в Республике Беларусь, в том числе в целях развязывания внутреннего вооруженного конфликта</p> <p>Выявление признаков и мониторинг деятельности по концентрации на приграничных территориях сопредельных государств собственных вооруженных сил, а также других государств (коалиции государств), указывающих на реальное намерение применить военную силу против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя Республики Беларусь</p> <p>Выявление признаков проведения на приграничной территории сопредельного государства мобилизации, указывающих на реализацию намерений осуществить нападение (акт вооруженной агрессии) в отношении Республики Беларусь</p> <p>Выявление признаков и мониторинг иной деятельности сопредельных государств и негосударственных субъектов, включая террористические и экстремистские организации, расположенных на их территории, осуществляемой в нарушение Устава ООН и указывающей на подготовку к нападению или развязыванию на приграничной территории Республики Беларусь внутреннего вооруженного конфликта</p>
---	--

Таким образом, в качестве возможных путей решения проблемы обеспечения национальной безопасности на Государственной границе Республики Беларусь в военной сфере, сообразных концептуальным положениям Военной доктрины, предлагаются:

1. Подход, основанный на выработке системы мер, включающей три варианта их реализации, исходя из следующих состояний обстановки: в условиях мирного времени (повседневной охраны государственной границы); в период нарастания военной угрозы (до начала военного конфликта); в военное время (в ходе военных конфликтов).

2. Модель реализации общих методологических подходов Концепции и Военной доктрины к обеспечению военной безопасности в виде конкретных исполнительских управленческих мер, сообразно целям, задачам и компетенциям пограничного ведомства Республики Беларусь.

При этом как сам подход, так и модель должны рассматриваться в качестве самостоятельных исследований и разработок.

По нашему мнению, выработанный материал может представлять интерес и для других сил (субъектов) системы обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь, так как каждый при внимательном прочтении, осмыслении и творческом применении положений новой Военной доктрины, обязательно увидит и откроет актуальные аспекты, требующие учета при уяснении сути установленных им задач по предназначению. Актуальным здесь остается необходимость своевременного осмысления таких задач исходя из принципа упреждающей реакции, так как сегодня «все чаще приходится сталкиваться с ситуациями, ранее не имевшими аналогов... Возникают так называемые гибридные угрозы, размывается понятие территориальной целостности государства. Широкое распространение получает разрабатываемая западными экспертами стратегия непрямых действий, в которой особая роль в достижении целей предоставляется неправительственным организациям радикальной направленности и другим подобным организациям» [2].

#### Список литературы

1. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь от 9 нояб. 2010 г. № 575 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2010. – № 1/12080.

2. В стране должны быть обеспечены военная безопасность и социально-политическая стабильность / Белорус. воен. газ. Во славу Родины. – 2014. – 17 дек. – С. 1; 3.

3. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412–3 // Нац. Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3961&p0=H11500307>. – Дата доступа: 19.10.2016.

4. Верлуп, С. В. Приграничная военная безопасность Республики Беларусь: общий взгляд на теорию вопроса / С. В. Верлуп // Идеол. аспекты воен. безопасности. – 2013. – № 1.

5. Павловский, А. А., Верлуп, С. В. Национальная безопасность на государственной границе: выбор системной основы совершенствования / А. А. Павловский, С. В. Верлуп // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 26. – С. 43–53.

6. Верлуп, С. В. Угроза национальной безопасности: универсальные методы эффективного познания / С. В. Верлуп // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 4 (45). – С. 18–29.

7. Верлуп, С. В. Совершенствование теоретических аспектов обеспечения военной безопасности Республики Беларусь на Государственной границе в современных условиях / С. В. Верлуп // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 3 (48). – С. 11–18.

8. Верлуп, С. В. Квазифакторы и факторы-регламенты и их учет в оценке международной обстановки / С. В. Верлуп // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 1 (50). – С. 12–23.

---

\*Сведения об авторе:

Верлуп Сергей Владимирович,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 20.03.2017 г.

УДК 355.4

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ ГРУПП (СИТУАЦИЙ)  
В УДАРЕ СВКН ПРОТИВНИКА**

А. С. Иванов;

В. Д. Черный, кандидат военных наук, доцент\*

*В статье представлен разработанный авторами метод определения тактических групп (ситуаций) в ударе средств воздушно-космического нападения противника на основе использования эвристического метода нечеткой кластеризации Кутюрье – Фьолео. Приведен пример практического использования приведенного метода.*

*In article the method of definition of tactical groups (situations) developed by authors in blow of means of an aerospace attack of the opponent on the basis of use of Couturier – Foleo heuristic method of indistinct klusterizaces is presented. The example of practical use of the method is resulted.*

Определение тактических групп (ситуаций) в ходе ведения боевых действий является одной из наиболее важных задач командира збр при оценке характера действий СВКН противника. С математической точки зрения данную задачу можно представить как задачу разбиения заданного множества объектов предметной области (СВКН противника) на классы (тактические группы (ситуации)). Формулируется она следующим образом: необходимо сгруппировать элементы исследуемого множества в подмножества, называемые кластерами, так, чтобы подобные элементы относились к одному и тому же множеству, а не подобные – к другим подмножествам.

Сформированные таким образом задачи решаются, как правило, с использованием методов кластерного анализа (автоматической классификации). Кластерный анализ – это способ группировки многомерных объектов, основанный на представлении результатов отдельных наблюдений точками подходящего геометрического пространства с последующим выделением групп, как «сгустков» этих точек. При этом в случае обычного кластерного анализа должно выполняться требование: нахождение однозначной кластеризации элементов исследуемой проблемной области. Однако при решении задачи определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника большинство формируемых классов объектов (тактических групп (ситуаций)) размыты по своей природе в силу существующей неопределенности знаний о возможных действиях противника. Эта размытость в данном случае состоит в том, что переход от принадлежности к непринадлежности элементов к классам, скорее, постепенен, чем скачкообразен. Требование нахождения однозначной кластеризации элементов исследуемой проблемной области является достаточно грубым и жестким, особенно при решении задач оценки характера действий СВКН противника. В данном случае могут быть использованы методы нечеткой кластеризации, которые ослабляют это требование. При этом в настоящее время отсутствуют методы, обеспечивающие непосредственно нахождение нечеткого покрытия множества СВКН противника в целях определения тактических групп (ситуаций) в ударе на основе использования методов нечеткой кластеризации, что, в свою очередь, обуславливает актуальность разработки метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника с использованием методов нечеткой автоматической классификации.

В настоящее время существует значительное количество публикаций, в которых подробно освещены вопросы современного состояния нечеткой автоматической классификации, описаны наиболее известные нечеткие кластер-процедуры и представлены методики применения кластерного анализа в различных исследуемых областях [2, 4, 7, 8]. Однако использование методов нечеткой кластеризации для непосредственного определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника в данных источниках не рассматривается. Особый интерес в качестве практического применения метода нечеткого кластерного анализа при распознавании замысла противника представляет рассмотренная

в [7] задача, в ходе которой определяется так называемая тенденция развития обстановки на основе получения данных о противнике и прогнозирования его последующих действий.

Целью статьи является разработка метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника на основе использования методов нечеткой автоматической классификации, обеспечивающего нахождение нечеткого покрытия множества СВКН противника, обнаруженных как средствами радиотехнических соединений, частей, подразделений, так и средствами разведки збр.

Разработанный метод определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника представляет собой выполнение следующих основных этапов:

1. Формирование выборки объектов для нечеткой кластеризации в виде множества СВКН противника  $G_i = \{g_i\}$ ,  $i = 1 \dots N$ , где  $N$  – количество СВКН противника, обнаруженных средствами радиотехнических соединений, частей, подразделений и средствами разведки збр на момент времени  $t$ .

2. Формирование и означивание множества переменных (характеристик, признаков), по которым будут оцениваться СВКН противника в выборке в виде кортежа  $g_i = \langle P_m \rangle$ ,  $m = 1 \dots M$ , где  $P_m$  –  $m$ -я переменная,  $M$  – количество переменных.

3. Нормализация значений переменных, измеренных в разных единицах измерения, в целях приведения к безразмерным величинам. Нормировка представляет собой переход к некоторому единообразному описанию для всех переменных (характеристик, признаков), к введению новой условной единицы измерения, допускающей формальное сопоставление объектов, в данном случае СВКН противника [5]. Другой целью данного изменения является также минимизация влияния переменных, которые могут иметь большие размеры и много выбросов. Так, согласно формуле евклидовой меры (евклидоваго расстояния), переменная, имеющая большие значения, практически полностью доминирует над переменной с малыми значениями.

В качестве способа нормализации в разрабатываемом методе используется способ нормирования по максимальному значению переменной:

$$Z^{P_m} = \frac{P_m}{P_m^{\max}}, \quad (1)$$

где  $Z^{P_m}$  – нормированное значение  $P_m$ ;  $P_m^{\max}$  – наибольшее значение переменной  $P_m$  среди исследуемой совокупности СВКН противника.

Такой способ нормирования позволяет на данном этапе привести значения переменных к диапазону от 0 до 1. Это делает их вполне сравнимыми, а также позволяет в дальнейшем вычислять степени принадлежности так называемого нечеткого отношения несходства СВКН противника (рассматривается детально ниже в рамках представления процедуры нечеткого кластерного анализа Кутюрье – Фьолео) в интервале  $[0, 1]$ , что соответствует традиционному представлению интервала значений степени принадлежности в теории нечетких множеств.

4. Вычисление значений меры различия или сходства между объектами, в данном случае СВКН противника (определение однородности объектов). В общем случае понятие однородности объектов определяется заданием правила вычисления величины  $p_{ij}$ , характеризующей либо расстояние  $d_{ij}$  между объектами  $g_i$  и  $g_j$  из исследуемой совокупности  $G_i$ , либо степень близости (сходства)  $r_{ij}$  тех же объектов. Так как, с одной стороны, переход от  $d_{ij}$  к  $r_{ij}$  и обратно, как правило, является элементарным, а с другой – данный алгоритм нечеткой кластеризации (см. ниже п. 5) в качестве входных данных использует матрицу расстояний между объектами  $d_{N \times N}$ , то в дальнейшем будем рассматривать только расстояния между объектами в виде значений  $d_{ij}$  [7]. Существуют различные виды расстояний, но наиболее интуитивно понятным и часто используемым является классическое евклидово

расстояние, с которым связана формула, представленная в контексте разрабатываемого метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника:

$$d_{ij} = d_E(g_i, g_j) = \sqrt{(z_i^{P_1} - z_j^{P_1}) + (z_i^{P_2} - z_j^{P_2}) + \dots + (z_i^{P_m} - z_j^{P_m})}. \quad (2)$$

5. Применение процедуры нечеткого кластерного анализа Кутюрье – Фьолео [2] для определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника в виде создания групп (кластеров) сходных объектов – СВКН противника. Непосредственное описание алгоритма Кутюрье – Фьолео и обоснование его выбора и выбора метода нечеткой кластеризации в рамках разрабатываемого метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника приводится ниже.

6. Представление результатов определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника на основе нечеткой автоматической классификации осуществляется в соответствии с предложениями, рассмотренными в [5]. При этом для командира зрбр представляют интерес результаты в виде:

перечня полученных нечетких кластеров (тактических групп (ситуаций))  $\{A_i^{F_k}\}$ ;

распределения объектов (СВКН противника) по нечетким кластерам (по тактическим группам (ситуациям)) с указанием степеней их принадлежности;

матрицы нечеткого покрытия (для более глубокого анализа результатов нечеткой кластеризации, например, в целях определения пересечений нечетких кластеров (тактических групп (ситуаций)));

графической визуализации результатов нечеткой кластеризации.

При этом необходимо отметить, что в общем случае эвристические методы нечеткой кластеризации, как правило, используются для предварительного анализа заданной совокупности объектов, а их результаты являются входными данными для других методов анализа данных.

Прежде чем детально рассмотреть порядок выполнения алгоритма Кутюрье – Фьолео, проведем обоснование выбора нечеткой кластер-процедуры в рамках разрабатываемого метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника. Общая схема выбора нечеткой кластер-процедуры, предложенная в работе [4], предусматривает два этапа:

1) обоснование выбора одного из трех типов методов нечеткого подхода к кластеризации (эвристического, оптимизационного, иерархического);

2) выбор конкретного алгоритма нечеткой кластер-процедуры.

Исходя из рекомендаций, приведенных в работе [2], в качестве метода нечеткого подхода к кластеризации используем эвристический метод. Это связано с тем, что, во-первых, существует содержательное представление об условиях объединения объектов (СВКН противника) в нечеткие кластеры (тактические группы (ситуации)). Во-вторых, число нечетких кластеров считается заранее неизвестным, т. е. в каждом конкретном ударе мы заранее не знаем, сколько будет тактических групп (ситуаций). В качестве алгоритма эвристической нечеткой кластер-процедуры предлагается использовать алгоритм Кутюрье – Фьолео [2]. Это связано с тем, что в рамках эвристического направления нечеткого подхода главным критерием выбора алгоритма является соответствие особенностей алгоритма содержательной постановке задачи, а именно: данный алгоритм не предполагает жестких ограничений на объем исследуемой совокупности объектов (СВКН противника) и допускает пересечение нечетких кластеров (т. е. обеспечивает не просто нечеткое разбиение, а нечеткое покрытие исследуемой совокупности объектов). При этом имеются предположения о минимальном числе объектов (СВКН противника) в кластере.

Структурная схема алгоритма Кутюрье – Фьолео приведена на рисунке.

Данный алгоритм включает семь этапов:

1. Формируется нечеткое отношение обычного несходства  $I$  объектов (СВКН противника) из множества  $G_i$  в виде матрицы расстояний между объектами (матрицы нечеткого отношения)

$$d_{N \times N} = [d_{ij}] = [\mu_I(g_i, g_j)], \quad (3)$$

где  $d_{ij} = d_E(g_i, g_j) = \mu_I(g_i, g_j)$  и  $d_{ij}$  вычисляется согласно выражению (2);

$\mu_I$  – функция принадлежности нечеткого отношения  $I$ , которая формально определяется как отображение

$$\mu_I : G_t \times G_t \rightarrow [0, 1]. \quad (4)$$

2. Задается порог различия объектов (СВКН противника)  $\alpha$ , объединяемых в нечеткие кластеры (тактические группы (ситуации)), где в общем случае  $\alpha \in (0, 1]$ . Порог различия представляет собой расстояния до центра или эталонной точки нечеткого кластера. В рамках решения задачи определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника в качестве порога различия, исходя из экспериментальных данных с учетом размеров территории Республики Беларусь [7], предлагается выбирать значения в интервале  $[0,1; 0,2]$ . При этом крайнее левое значение данного интервала в качестве порога различия СВКН противника представляет собой случай наиболее жесткого ограничения (в дальнейшем будем считать, что данное крайнее левое значение интервала  $[0,1; 0,2]$  является значением порога различия объектов по умолчанию).

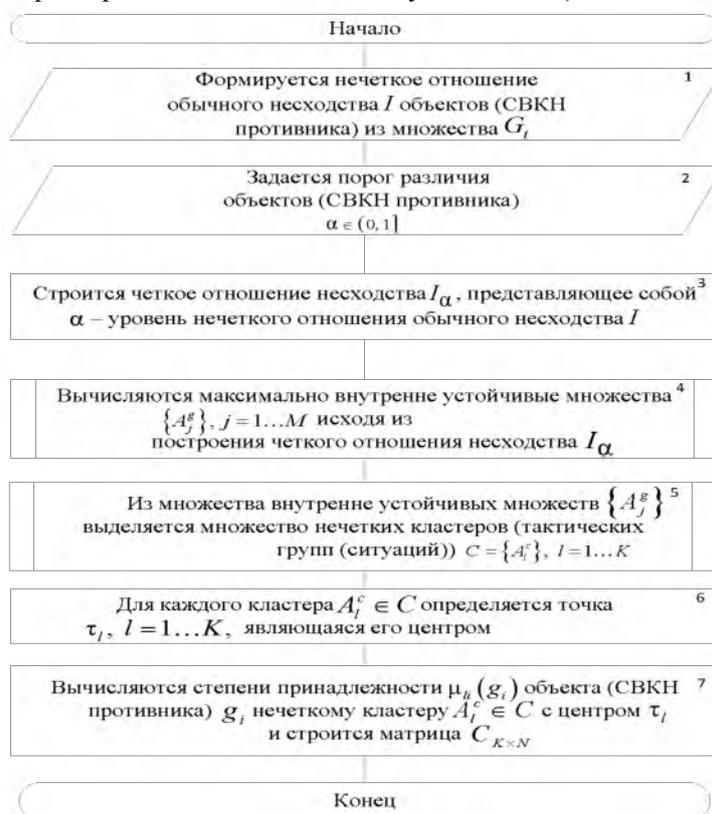


Рисунок. – Структура алгоритма эвристической нечеткой кластер-процедуры Кутюрье – Фьолое

3. Для заданного порога различия  $\alpha \in [0,1; 0,2]$  строится четкое отношение несходства  $I_\alpha$ , представляющее собой уровень нечеткого отношения обычного несходства  $I$ , в соответствии с условием

$$\mu_{I_\alpha}(g_i, g_j) = \begin{cases} 0, & \mu(g_i, g_j) \leq \alpha; \\ 1, & \mu(g_i, g_j) > \alpha, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$I_\alpha = \{(g_i, g_j); g_i, g_j \in G_t, \mu_{I_\alpha}(g_i, g_j) = 1\}. \quad (6)$$

4. Вычисляется максимально внутренне устойчивые множества исходя из построенного четкого отношения несходства  $I_\alpha$  согласно следующей процедуре:

1) вводится индекс  $i := 1$ ;  
 2) создается пустое внутренне устойчивое множество  $A_i = \emptyset$ ;  
 3) осуществляется проверка подобности каждого элемента множества  $G_i = \{g_j\}, j=1 \dots N$ , элементу  $g_j$  и по результатам проверки формируется внутренне устойчивое множество  $A_i$  согласно правилу: «Если  $(g_i, g_j) \notin I_\alpha$ , то множество  $A_i$  замещается множеством  $A_i \cup \{g_j\}$ » (непосредственно порядок перебора элементов множества  $G_i$  не рассматривается в силу своей тривиальности);

4) если  $i < N$ , то изменяется индекс  $i := i + 1$  и осуществляется переход к п. 2, иначе осуществляется переход к п. 5;

5) анализируется и преобразуется полученное множество внутренне устойчивых множеств  $\{A_j\}, j=1 \dots N$  ( $N$  – количество внутренне устойчивых множеств, соответствующее множеству СВКН противника), согласно правилу: «Если некоторое множество  $A_k \in \{A_j\}$  является подмножеством множества  $A_l \in \{A_j\}$ , т. е.  $A_k \subseteq A_l$ , то множество  $A_k$  исключается из рассмотрения». В результате выполнения правила получаем множество внутренне устойчивых множеств  $\{A_j^g\}, j=1 \dots M$  ( $M \leq N, M$  – количество оставшихся внутренне устойчивых множеств).

5. Из множества внутренне устойчивых множеств  $\{A_j^g\}$  выделяется множество нечетких кластеров (тактических групп (ситуаций))  $C = \{A_l^c\}, l=1 \dots K, K \leq M, K$  – количество нечетких кластеров (тактических групп (ситуаций)). Внутренне устойчивое множество  $A_j^g$  представляет собой кластер  $A_l^c$ , если  $A_j^g$  удовлетворяет следующим условиям:

- условию представительства, в соответствии с которым любое максимально внутренне устойчивое множество с небольшим числом элементов не рассматривается; максимально внутренне устойчивое множество  $A_j^g$  является кластером, если

$$\text{card}(A_j^g) \geq u, \quad (7)$$

где  $u$  – порог, определяющий минимально допустимое количество элементов в нечетком кластере.

Если условие (7) не выполняется, максимально внутренне устойчивое множество исключается из рассмотрения. Исходя из опыта боевых действий, в качестве минимального количества СВКН противника в ударе предлагается использовать значение, представляющее собой долю от количества СВКН противника, обнаруженных средствами радиотехнических соединений, частей, подразделений и средствами разведки збрр на момент времени  $t$ , и вычисляемую по формуле

$$u = \frac{1}{K_{\text{тр}}}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{тр}}$  – возможное количество тактических групп в ударе СВКН противника;

- условию разделимости, в соответствии с которым для любых двух максимально внутренне устойчивых множеств количество элементов в области их пересечения не должно превышать пороговое значение  $\omega$ . Если условие не выполняется, то два максимально внутренних устойчивых множества объединяются и полученное множество проверяется на приведенные выше условия. Исходя из опыта боевых действий, в качестве максимального количества СВКН противника в области пересечения любых двух ударов предлагается использовать значение, представляющее собой 50 % от количества СВКН противника в каждом из рассматриваемых ударов.

Таким образом, множество нечетких кластеров  $C = \{A_l^c\}$  должно удовлетворять следующему критерию:

$$C = \begin{cases} A_l^c : \forall A_l^c \in \{A_f^g\}, l=1...K, \text{card}(A_l^g) \geq u; \\ \forall A_l^c, A_f^c \in \{A_f^g\}, f=1...K, l \neq f, \text{card}(A_l^c \cap A_f^c) \leq \omega. \end{cases} \quad (9)$$

6. Для каждого кластера  $A_l^c \in C$ , в общем случае произвольным образом, определяется точка  $\tau_l$ ,  $l=1...K$ , являющаяся его центром. В целях автоматизации выполнения данной процедуры кластеризации в качестве такой точки выбирается объект (СВКН противника)  $\tau_l = g_i$ ,  $g_i \in A_l^c$ , имеющий минимальное значение индекса объекта  $i$ .

7. Строится матрица  $C_{K \times N}$  нечеткого покрытия  $C = \{A_l^c\}$ ,  $l=1...K$  множества СВКН противника  $G_i = \{g_i\}$ ,  $i=1...N$ . Элементами матрицы  $C_{K \times N}$  являются степени принадлежности  $\mu_{ij}(g_i)$  объекта (СВКН противника)  $g_i$  нечеткому кластеру  $A_l^c \in C$  с центром  $\tau_l$ , вычисляемые в соответствии со следующим выражением:

$$\mu_{li} = 1 - \frac{\mu_l(g_i, \tau_l)}{\max \mu_l(g_i, g_j)}, \quad i, j = 1...N, l = 1...K. \quad (10)$$

Прежде чем приступить к рассмотрению разработанного метода на конкретном примере, отметим, что определяемая на текущий момент времени тактическая группа (ситуация) в ударе СВКН противника характеризуется вектором переменных (характеристик, признаков), компонентами которого могут быть: количество, построение боевого порядка, эшелонирование СВКН противника по глубине, плотность и длительность удара, основные направления ударов, маршруты (траектории) полета СВКН и пуска ракет «воздух – земля», рубежи постановки радиоэлектронных помех, диапазоны высот, скоростей, подлетное время, дальность и др.

В качестве примера при описании СВКН противника в рамках данной статьи ограничимся использованием трех переменных, а именно:  $P_1 = H_i$  – высота полета  $i$ -го СВКН противника,  $P_2 = V_i$  – скорость полета  $i$ -го СВКН противника и  $P_3 = Q_i$  – курс полета  $i$ -го СВКН противника.

Таким образом, описание  $i$ -го СВКН противника в рамках данной статьи представляется в виде кортежа:

$$g_i = \langle H_i, V_i, Q_i \rangle. \quad (11)$$

Пусть на некоторый момент времени  $t$  средствами радиотехнических соединений, частей, подразделений и средствами разведки збр обнаружено 11 СВКН противника  $G_i = \{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8, g_9, g_{10}, g_{11}\}$  со следующими характеристиками (см. этапы 1, 2 разработанного метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника на основе нечеткой автоматической классификации (далее – разработанного метода)):

- 1)  $g_1 = \langle H_1, V_1, Q_1 \rangle$ ,  $H_1 = 4000$  м,  $V_1 = 250$  м/с,  $Q_1 = 300^\circ$ ;
- 2)  $g_2 = \langle H_2, V_2, Q_2 \rangle$ ,  $H_2 = 5000$  м,  $V_2 = 300$  м/с,  $Q_2 = 305^\circ$ ;
- 3)  $g_3 = \langle H_3, V_3, Q_3 \rangle$ ,  $H_3 = 4500$  м,  $V_3 = 260$  м/с,  $Q_3 = 260^\circ$ ;
- 4)  $g_4 = \langle H_4, V_4, Q_4 \rangle$ ,  $H_4 = 4100$  м,  $V_4 = 255$  м/с,  $Q_4 = 295^\circ$ ;
- 5)  $g_5 = \langle H_5, V_5, Q_3 \rangle$ ,  $H_5 = 4000$  м,  $V_5 = 245$  м/с,  $Q_3 = 310^\circ$ ;
- 6)  $g_6 = \langle H_6, V_6, Q_6 \rangle$ ,  $H_6 = 3700$  м,  $V_6 = 252$  м/с,  $Q_6 = 305^\circ$ ;
- 7)  $g_7 = \langle H_7, V_7, Q_3 \rangle$ ,  $H_7 = 3700$  м,  $V_7 = 248$  м/с,  $Q_3 = 307^\circ$ ;
- 8)  $g_8 = \langle H_8, V_8, Q_8 \rangle$ ,  $H_8 = 5100$  м,  $V_8 = 300$  м/с,  $Q_8 = 298^\circ$ ;
- 9)  $g_9 = \langle H_9, V_9, Q_9 \rangle$ ,  $H_9 = 4800$  м,  $V_9 = 260$  м/с,  $Q_9 = 302^\circ$ ;

$$10) g_{10} = \langle H_{10}, V_{10}, Q_{10} \rangle, H_{10} = 4800 \text{ м}, V_{10} = 270 \text{ м/с}, Q_{10} = 312^\circ;$$

$$11) g_{11} = \langle H_{11}, V_{11}, Q_{11} \rangle, H_{11} = 4900 \text{ м}, V_{11} = 272 \text{ м/с}, Q_{11} = 293^\circ.$$

Характеристики СВКН противника в данном примере подобраны таким образом, чтобы можно было интуитивно на предварительном этапе выделить три группы, представляющие три четких множества СВКН противника.

В результате выполнения нормализации получаем следующие характеристики СВКН противника (см. этап 3 разработанного метода):

$$1) g_1 = \langle z_1^H, z_1^V, z_1^Q \rangle, z_1^H = 0,784, z_1^V = 0,833, z_1^Q = 0,962;$$

$$2) g_2 = \langle z_2^H, z_2^V, z_2^Q \rangle, z_2^H = 0,980, z_2^V = 1, z_2^Q = 0,978;$$

$$3) g_3 = \langle z_3^H, z_3^V, z_3^Q \rangle, z_3^H = 0,882, z_3^V = 0,867, z_3^Q = 0,929;$$

$$4) g_4 = \langle z_4^H, z_4^V, z_4^Q \rangle, z_4^H = 0,804, z_4^V = 0,850, z_4^Q = 0,983;$$

$$5) g_5 = \langle z_5^H, z_5^V, z_5^Q \rangle, z_5^H = 0,784, z_5^V = 0,817, z_5^Q = 0,994;$$

$$6) g_6 = \langle z_6^H, z_6^V, z_6^Q \rangle, z_6^H = 0,725, z_6^V = 0,840, z_6^Q = 0,978;$$

$$7) g_7 = \langle z_7^H, z_7^V, z_7^Q \rangle, z_7^H = 0,725, z_7^V = 0,827, z_7^Q = 0,984;$$

$$8) g_8 = \langle z_8^H, z_8^V, z_8^Q \rangle, z_8^H = 1, z_8^V = 1, z_8^Q = 0,955;$$

$$9) g_9 = \langle z_9^H, z_9^V, z_9^Q \rangle, z_9^H = 0,941, z_9^V = 0,867, z_9^Q = 0,968;$$

$$10) g_{10} = \langle z_{10}^H, z_{10}^V, z_{10}^Q \rangle, z_{10}^H = 0,941, z_{10}^V = 0,900, z_{10}^Q = 1;$$

$$11) g_{11} = \langle z_{11}^H, z_{11}^V, z_{11}^Q \rangle, z_{11}^H = 0,961, z_{11}^V = 0,907, z_{11}^Q = 0,939.$$

В соответствии с выражением (2) определяются элементы матрицы расстояний между объектами (СВКН противника) в виде выражения (3):

$$d_{N \times N} = \begin{bmatrix} 0 & 0,258 & 0,108 & 0,030 & 0,036 & 0,061 & 0,063 & 0,273 & 0,160 & 0,175 & 0,192 \\ 0,258 & 0 & 0,172 & 0,234 & 0,269 & 0,301 & 0,308 & 0,030 & 0,139 & 0,110 & 0,103 \\ 0,108 & 0,172 & 0 & 0,082 & 0,127 & 0,166 & 0,171 & 0,180 & 0,070 & 0,098 & 0,089 \\ 0,030 & 0,234 & 0,082 & 0 & 0,062 & 0,085 & 0,090 & 0,247 & 0,140 & 0,156 & 0,167 \\ 0,036 & 0,269 & 0,127 & 0,062 & 0 & 0,065 & 0,060 & 0,286 & 0,167 & 0,178 & 0,205 \\ 0,061 & 0,301 & 0,166 & 0,085 & 0,065 & 0 & 0,015 & 0,319 & 0,218 & 0,225 & 0,248 \\ 0,063 & 0,308 & 0,171 & 0,090 & 0,060 & 0,015 & 0 & 0,326 & 0,220 & 0,228 & 0,253 \\ 0,273 & 0,030 & 0,180 & 0,247 & 0,286 & 0,319 & 0,326 & 0 & 0,146 & 0,124 & 0,102 \\ 0,160 & 0,139 & 0,070 & 0,140 & 0,167 & 0,218 & 0,220 & 0,146 & 0 & 0,046 & 0,053 \\ 0,175 & 0,110 & 0,098 & 0,156 & 0,178 & 0,225 & 0,228 & 0,124 & 0,046 & 0 & 0,064 \\ 0,192 & 0,103 & 0,089 & 0,167 & 0,205 & 0,248 & 0,253 & 0,102 & 0,053 & 0,064 & 0 \end{bmatrix}$$

Задается по умолчанию порог различия объектов (СВКН противника)  $\alpha = 0,1$ . Для заданного порога различия строится четкое отношение несходства  $I_\alpha$  в соответствии с условием (5):

$$I_{\alpha} = \left[ \begin{array}{l} (g_1, g_2), (g_1, g_3), (g_1, g_8), (g_1, g_9), (g_1, g_{10}), (g_1, g_{11}); \\ (g_2, g_1), (g_2, g_3), (g_2, g_4), (g_2, g_5), (g_2, g_6), (g_2, g_7), (g_2, g_9), (g_2, g_{10}), (g_2, g_{11}); \\ (g_3, g_1), (g_3, g_2), (g_3, g_5), (g_3, g_6), (g_3, g_7), (g_3, g_8); \\ (g_4, g_2), (g_4, g_8), (g_4, g_9), (g_4, g_{10}), (g_4, g_{11}); \\ (g_5, g_2), (g_5, g_3), (g_5, g_8), (g_5, g_9), (g_5, g_{10}), (g_5, g_{11}); \\ (g_6, g_2), (g_6, g_3), (g_6, g_8), (g_6, g_9), (g_6, g_{10}), (g_6, g_{11}); \\ (g_7, g_2), (g_7, g_3), (g_7, g_8), (g_7, g_9), (g_7, g_{10}), (g_7, g_{11}); \\ (g_8, g_1), (g_8, g_3), (g_8, g_4), (g_8, g_5), (g_8, g_6), (g_8, g_7), (g_8, g_9), (g_8, g_{10}), (g_8, g_{11}); \\ (g_9, g_1), (g_9, g_2), (g_9, g_4), (g_9, g_5), (g_9, g_6), (g_9, g_7), (g_9, g_8); \\ (g_{10}, g_1), (g_{10}, g_2), (g_{10}, g_4), (g_{10}, g_5), (g_{10}, g_6), (g_{10}, g_7), (g_{10}, g_8); \\ (g_{11}, g_1), (g_{11}, g_2), (g_{11}, g_4), (g_{11}, g_5), (g_{11}, g_6), (g_{11}, g_7), (g_{11}, g_8). \end{array} \right]$$

Вычисляются следующие максимально внутренне устойчивые множества исходя из построенного четкого отношения несходства

$$I_{\alpha} : A_1 = A_5 = A_6 = A_7 = A_1^g = \{g_1, g_5, g_6, g_7\};$$

$$A_2 = A_8 = A_2^g = \{g_2, g_8\};$$

$$A_3 = A_3^g = \{g_3\};$$

$$A_4 = A_4^g = \{g_4\};$$

$$A_9 = A_{10} = A_{11} = A_5^g = \{g_9, g_{10}, g_{11}\}.$$

Из множества внутренне устойчивых множеств  $\{A_1^g, A_2^g, A_3^g, A_4^g, A_5^g\}$  по критерию (9) (соблюдаются оба условия выделения кластеров) выделяется множество нечетких кластеров (тактических групп)  $C = \{A_1^k, A_2^k, A_3^k\}$ , где  $A_1^k = \{g_1, g_5, g_6, g_7\}$ ;  $A_2^k = \{g_8, g_8\}$ ;  $A_3^k = \{g_9, g_{10}, g_{11}\}$ .

Определяются центры полученных кластеров: для кластера  $A_1^k$  его центром является точка  $\tau_1 = g_1$ ; для кластера  $A_2^k$  – точка  $\tau_2 = g_2$ ; для кластера  $A_3^k$  – точка  $\tau_3 = g_9$ .

В соответствии с выражением (10) строится матрица  $C_{K \times N}$  нечеткого покрытия множеством нечетких кластеров (тактических групп (ситуаций))  $C = \{A_1^k, A_2^k, A_3^k\}$ , множества СВКН противника  $G_t = \{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8, g_9, g_{10}, g_{11}\}$ :

$$C_{K \times N} = \begin{bmatrix} 1 & 0,054 & 0,602 & 0,889 & 0,868 & 0,775 & 0,768 & 0 & 0,411 & 0,359 & 0,294 \\ 0,164 & 1 & 0,441 & 0,242 & 0,128 & 0,024 & 0 & 0,903 & 0,548 & 0,644 & 0,666 \\ 0,270 & 0,367 & 0,680 & 0,363 & 0,242 & 0,011 & 0 & 0,335 & 1 & 0,790 & 0,759 \end{bmatrix}$$

В результате выполнения разработанного в статье метода определения тактических групп (ситуаций) в ударе СВКН противника на основе нечеткой автоматической классификации получаем следующие нечеткие кластеры, представляющие определенные тактические группы СВКН противника на момент времени  $t$ :

$$A_1^{F_k} = \left\{ \frac{1}{g_1}, \frac{0,054}{g_2}, \frac{0,602}{g_3}, \frac{0,889}{g_4}, \frac{0,868}{g_5}, \frac{0,775}{g_6}, \frac{0,768}{g_7}, \frac{0}{g_8}, \frac{0,411}{g_9}, \frac{0,359}{g_{10}}, \frac{0,294}{g_{11}} \right\},$$

$$A_2^{F_k} = \left\{ \frac{0,164}{g_1}, \frac{1}{g_2}, \frac{0,441}{g_3}, \frac{0,242}{g_4}, \frac{0,128}{g_5}, \frac{0,024}{g_6}, \frac{0}{g_7}, \frac{0,903}{g_8}, \frac{0,548}{g_9}, \frac{0,644}{g_{10}}, \frac{0,666}{g_{11}} \right\},$$

$$A_3^{F_i} = \left\{ \frac{0,270}{g_1}, \frac{0,367}{g_2}, \frac{0,680}{g_3}, \frac{0,363}{g_4}, \frac{0,242}{g_5}, \frac{0,011}{g_6}, \frac{0}{g_7}, \frac{0,335}{g_8}, \frac{1}{g_9}, \frac{0,790}{g_{10}}, \frac{0,759}{g_{11}} \right\}.$$

Таким образом, разработанный метод позволяет в автоматическом режиме, независимо от количества участвующих в ударе СВКН противника, получать их распределение по тактическим группам (ситуациям). Командиру збр представляется возможным в ходе боевых действий выявлять наиболее важные группы целей, фактически определять направление сосредоточения основных усилий, строить боевой порядок збр с учетом динамики действий противника. Такой метод может быть реализован в АСУ (КСА).

#### Список литературы

1. Большин, А. В. Проблемы распознавания воздушных целей / А. В. Большин // Воен. мысль. – 2010. – № 12. – С. 43–49.
2. Вятчин, Д. А. Нечеткие методы автоматической классификации: моногр. / Д. А. Вятчин. – Минск: Технопринт, 2004. – 219 с.
3. Кругликов, С. В. Управление действиями зенитных ракетных войск в условиях массированного ракетно-авиационного удара // С. В. Кругликов, В. В. Кругликов, И. В. Филиппченко // Идеологические аспекты военной безопасности. – 2014. – № 1. – С. 18–23.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
5. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
6. Неупокоев, Ф. К. Противовоздушный бой / Ф. К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
7. Олизаренко, С. А. Метод формализации задачи определения направлений ударов СВН противника на основе автоматической нечеткой классификации / С. А. Олизаренко, А. В. Перепелица, В. А. Капранов // Системы обработки информации. – 2011. – № 3 (27). – С. 48–55.
8. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

\*Сведения об авторах:

Иванов Андрей Сергеевич,

Черный Викентий Дорофеевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 30.03.2017 г.

УДК 623.618.2

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ ВОЙСК И ОБЪЕКТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. В. Колодяжный, доктор военных наук, профессор;

В. Р. Драгун, кандидат военных наук;

А. А. Посудевский, кандидат технических наук, доцент;

А. Н. Пальцев, кандидат технических наук, доцент\*

*Предложен новый подход к решению задачи оценки эффективности противовоздушной обороны войск и объектов наземными силами ПВО. В частности, предлагается система показателей, обеспечивающая проведение оценки органами управления ожидаемой эффективности боевых действий сил и средств ПВО в соответствии с выполняемыми ими боевыми задачами.*

*A new way of problem-solution-approach of air defense troops effectiveness evaluation and objects by land forces of air defense is suggested. In particular metric system that provides carrying out combat actions air defense force evaluation of expected effectiveness by means of control in accordance with combat missions dispatch is suggested.*

Оценка ожидаемой эффективности боевых действий войск ПВО всегда была и остается актуальной задачей органов управления при организации боевых действий наземных сил и средств ПВО. Процесс автоматизации управления войсками, кроме того, обуславливает необходимость формализации важной его составляющей – оценки эффективности разрабатываемых вариантов решения и ожидаемых последствий принятого решения. При этом необходимо отметить, что понятия «эффективность решения», «ожидаемая эффективность боевых действий» (ожидаемый вклад в эффективность общей системы ПВО) и «достигаемая эффективность боевых действий» (вклад в эффективность общей системы ПВО, достигнутый в результате ведения боевых действий) тесно связаны и даже тождественны, так как вполне очевидно, что лучшее решение предполагает более полное использование боевых возможностей сил и средств ЗРВ (ЗА) и в конечном счете достижение более высоких результатов боевых действий войск ПВО в соответствии с поставленными боевыми задачами.

Исходя из энциклопедического определения, эффективность боевых действий – это степень соответствия результатов боевых действий поставленной боевой задаче [1]. Иными словами, эффективность – это степень достижения цели. Поэтому критерии и показатели оценки эффективности должны устанавливаться в строгом соответствии с целями и боевыми задачами, выполняемыми силами ПВО. Кроме того, один из основных законов управления войсками – закон единства и соподчиненности критериев эффективности в управлении войсками – находит свое проявление в необходимости конкретизации (стандартизации) критериев эффективности, значения которых требуется получить, чтобы поставленную цель считать достигнутой. При автоматизации процессов управления войсками такие боевые задачи, как отразить удар авиации противника, прикрыть войска от ударов СВН противника и т. д. должны соответствовать определенному количественному нормативу. Без этого нельзя поставить задачу на моделирование и по результатам расчетов определить степень соответствия результатов боевых действий поставленной задаче, т. е. оценить эффективность. При этом важным представляется достижение единства или строгой соподчиненности нормативных показателей оценочных критериев для всех звеньев управления. Кроме того, необходимо учитывать, что показатель – это количественная или качественная характеристика явления, процесса. Показатель эффективности боевых действий войск должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- соответствовать цели боевых действий и решаемой боевой задаче при многократном ее повторении;

- иметь ясный физический смысл, т. е. давать четкое представление о том, к каким изменениям величины показателя приведут изменения тех или иных факторов, влияющих на выполнение боевой задачи;

- быть чувствительным к принимаемым решениям и изменениям условий обстановки;

- обеспечивать возможность получения исходных данных для расчетов в процессе управления войсками;

- обеспечивать получение результатов в приемлемое для процесса планирования боевых действий время.

Как известно, ожидаемая эффективность боевых действий сил и средств ЗРВ и ЗА при фиксированном значении степени воздействия СВН противника зависит в основном от двух основных факторов: реализации боевых возможностей огневых соединений, частей, подразделений и выбранного критерия оценки эффективности. При этом выбор критерия эффективности системы ПВО, как правило, относится к числу основных методологических трудностей [2–5]. Поэтому для определения показателей и критериев оценки ожидаемой эффективности боевых действий наземных сил ПВО необходимо провести анализ возможных задач, выполняемых ими в ходе боевых действий. Для этого выполняемые боевые задачи необходимо описать в виде иерархической структуры.

Проведенный анализ и практика войск показывают, что цель и боевые задачи, выполняемые огневыми формированиями наземных сил ПВО с достаточной степенью детализации, можно представить в виде иерархической структуры, имеющей три уровня (рисунок 1).



Рисунок 1. – Иерархическая структура целей (задач) системы ПВО

На первом уровне осуществляется формирование общей цели боевых действий наземных сил ПВО, которая является заголовком всего «дерева». Главная цель противовоздушной обороны – недопущение нанесения противником ударами с воздуха таких потерь прикрываемым войскам (объектам), в результате которых они не смогут выполнить поставленную им задачу (т. е. функционировать).

На втором и третьем уровнях осуществляется представление цели высшего уровня в виде дерева выполняемых боевых задач. В частности, на втором уровне рассматриваются две основные группы задач, решением которых возможно достижение главной цели:

первая группа задач – нанесение ущерба средствам воздушного нападения противника;

вторая группа задач – предотвращение ущерба, наносимого средствами воздушного нападения противника прикрываемым войскам и объектам.

На третьем уровне формируются производные от основных задач – боевые задачи, которые могут ставиться силам ЗРВ и ЗА в ходе боевых действий с формулировкой, подтвержденной практикой войск, и показатели, предлагаемые для их оценки.

К первой группе боевых задач (нанесение противнику ущерба) и их показателей относятся:

**Задача 1.1. Нанесение авиации противника поражения** – ведение силами и средствами ЗРВ (ЗА) боевых действий в целях уничтожения максимального количества СВН противника.

Ожидаемая эффективность выполнения данной боевой задачи (рисунок 2) характеризуется отношением доли уничтожаемых СВН при заданной степени поражения авиации противника из состава удара:

$$\mathfrak{E}_{11} = \begin{cases} 1, C_{11} \leq \delta \text{ или } C_{11} = 0; \\ \frac{\delta}{C_{11}} \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $\delta$  – ожидаемая доля целей, уничтожаемых из состава удара:  $\delta = \frac{M_{ц}}{N_{ц}}$ ;

$M_{ц}$  – математическое ожидание (МОЖ) целей, уничтожаемых из состава удара;

$N_{ц}$  – количество целей в составе ожидаемого удара;

$C_{11}$  – заданная степень поражения (доля) авиации из состава удара (боевая задача).

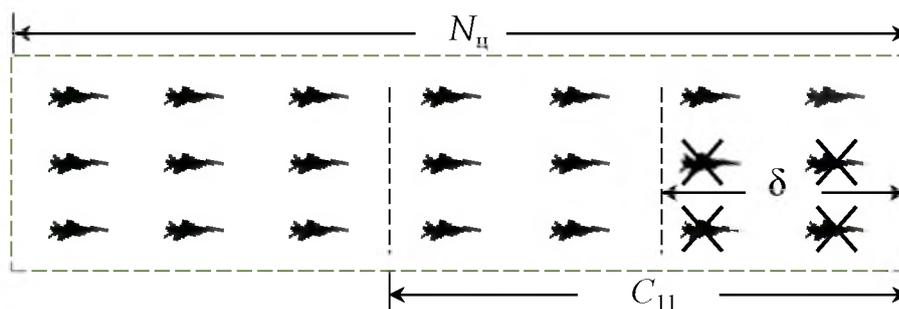


Рисунок 2. – Схема решения задачи 1.1

**Задача 1.2. Отражение (срыв) удара авиации противника** – ведение силами и средствами ЗРВ (ЗА) боевых действий по недопущению выполнения авиацией противника боевой задачи.

Ожидаемая эффективность выполнения данной боевой задачи (рисунок 3) характеризуется отношением количества отраженных СВН из состава удара (уничтоженных и не выполнивших боевую задачу) к заданному количеству:

$$\mathfrak{E}_{12} = \begin{cases} 1, C_{12} \leq \delta_{отр} \text{ или } C_{12} = 0; \\ \frac{\delta_{отр}}{C_{12}} \text{ в остальных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

где  $\delta_{отр}$  – ожидаемая доля отраженных целей из состава удара (уничтоженных и не выполнивших свою боевую задачу):

$$\delta_{отр} = 1 - (1 - \delta) \left[ 1 - \delta_{пил} + \delta_{пил} e^{-220(\delta_{пил}\delta)^4} \right],$$

$\delta_{пил}$  – ожидаемая доля пилотируемых СВН из состава удара;

$C_{12}$  – заданная доля отраженных целей из состава удара (боевая задача).

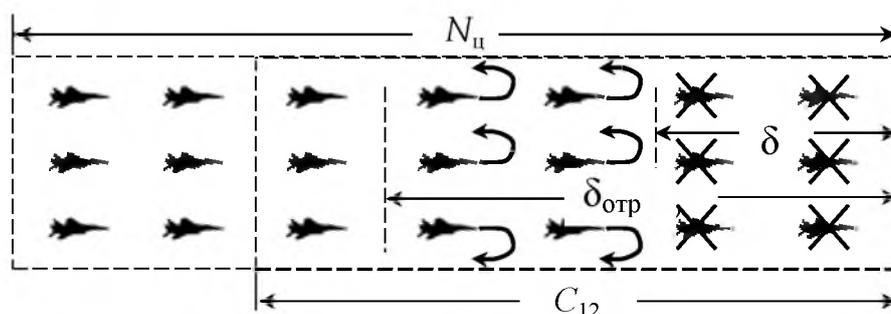


Рисунок 3. – Схема решения задачи 1.2

Ко второй группе боевых задач (предотвращение ущерба прикрываемым войскам и объектам) и их показателей относятся:

**Задача 2.1. Прикрытие главных сил группировки войск от ударов воздушного противника** – ведение силами и средствами ЗРВ (ЗА) боевых действий в целях сохранения способности прикрываемых войск выполнять поставленные задачи в условиях воздействия СВН противника.

Ожидаемая эффективность выполнения данной боевой задачи (рисунок 4) характеризуется отношением доли отраженных СВН за счет действия сил ПВО к требуемой доле СВН, способной (по наряду сил) нанести допустимый ущерб прикрываемым войскам:

$$\Theta_{21} = \begin{cases} 1, & \text{если } \delta_{\text{тр}} \leq \delta_{\text{отр}}(\delta) \vee \delta_{\text{тр}} = 0; \\ \frac{\delta_{\text{отр}}(\delta)}{\delta_{\text{тр}}}, & \end{cases} \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{ц}} - N_{\text{СВН гр}}}{N_{\text{ц}}}$  – требуемая доля отраженных СВН, при которой обеспечивается нанесение ущерба прикрываемым войскам на уровне, не превышающем допустимого;

$N_{\text{СВН гр}}$  – минимальное требуемое количество СВН из состава прогнозируемого удара ( $N_{\text{ц}}$ ), которое обеспечивает нанесение допустимого уровня потерь прикрываемым войскам ( $C_{21}$ ). При этом  $N_{\text{СВН гр}} = f(C_{21})$ .

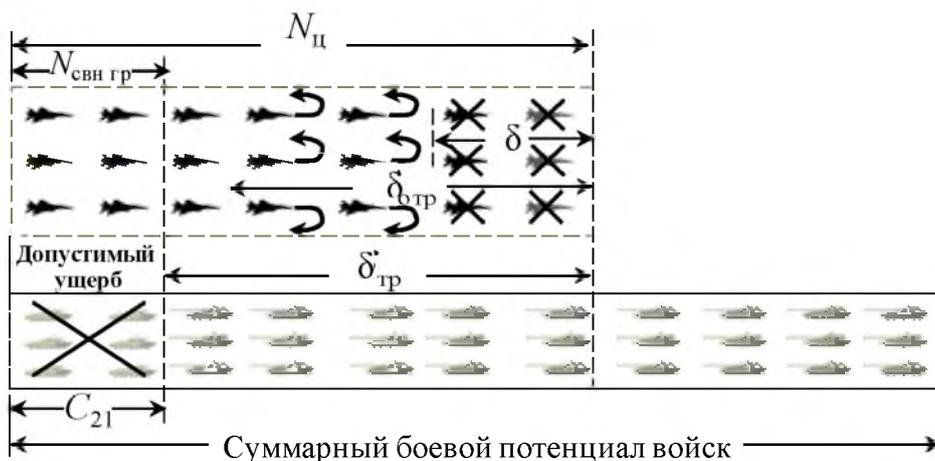


Рисунок 4. – Схема решения задачи 2.1

**Задача 2.2 Недопущение прорыва авиации противника к прикрываемым объектам** – ведение силами и средствами ЗРВ (ЗА) боевых действий с целью воспрепятствовать выходу СВН противника к объектам удара.

Ожидаемая эффективность выполнения данной боевой задачи (рисунок 5) характеризуется функцией, зависящей от доли отраженных СВН и заданных условий ее выполнения  $\mathcal{E}_{22} = f(\delta_{\text{отр}}; C_{22}; C_{221})$ :

$$\mathcal{E}_{22} = \begin{cases} 0, & \text{если } C_{22} = 0 \text{ или } \delta_{\text{пр}}(\delta) > 0; \\ 1, & \text{если } \delta_{\text{пр}} \leq C_{22}; \\ 1 - \frac{1}{(1 - C_{22})^{C_{221}}} \cdot (\delta_{\text{пр}}(\delta) - C_{22})^{C_{221}}, & \end{cases} \quad (4)$$

где  $\delta_{\text{отр}}$  – ожидаемая доля отраженных СВН;

$C_{22}$  – допустимая доля СВН из состава удара, прорвавшихся к прикрываемым объектам  $C_{22} = (0 \dots 1, 0)$ ;

$C_{221}$  – допустимый уровень повреждений прикрываемых объектов  $(0, 1 \dots 0, 5)$ ;

$\delta_{\text{пр}}$  – ожидаемая доля СВН из состава удара, прорвавшихся к прикрываемым объектам

$$\delta_{\text{пр}} = 1 - \delta_{\text{отр}}.$$

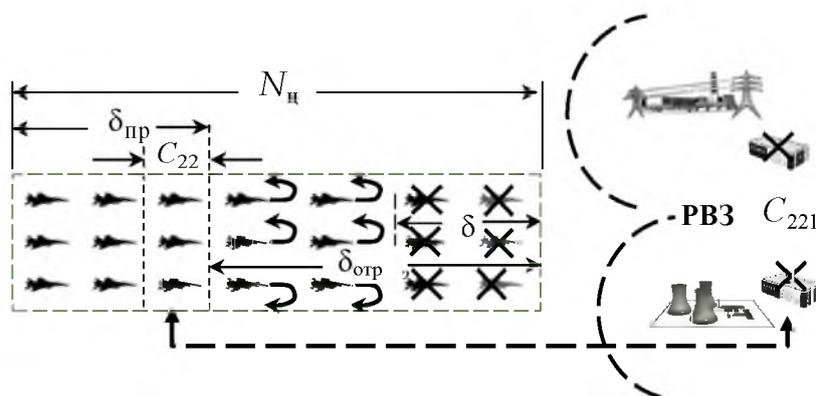


Рисунок 5. – Схема решения задачи 2.2

**Задача 2.3. Недопущение ущерба прикрываемым объектам** – ведение силами и средствами ЗРВ (ЗА) боевых действий с целью не допустить нанесения СВН противника ущерба обороняемым объектам больше допустимого.

Ожидаемая эффективность выполнения данной боевой задачи (рисунок 6) характеризуется отношением ожидаемого предотвращенного ущерба объекту действиями сил и средств ПВО к величине необходимого предотвращенного ущерба:

$$\mathcal{E}_{23} = \frac{D_{\text{ПВ}}}{S_t - C_{23}}, \quad (5)$$

где  $D_{\text{ПВ}}$  – суммарный предотвращенный ущерб за счет действий сил ЗРВ (ЗА);

$S_t$  – степень поражения объекта, для которой рассчитан наряд СВН на объект;

$C_{23}$  – допустимый уровень повреждений прикрываемых объектов.

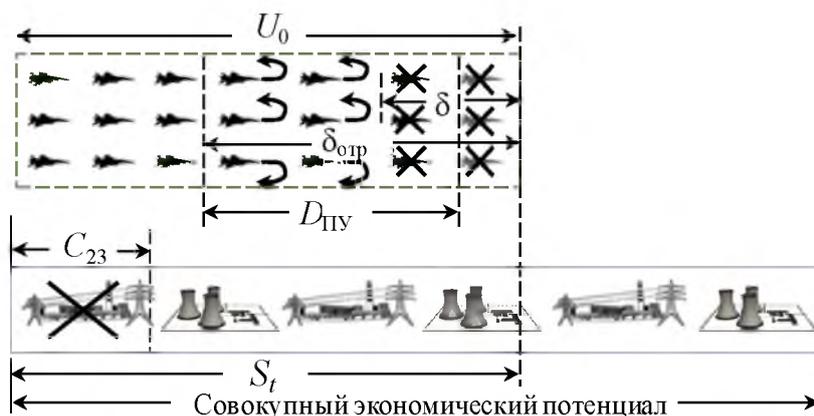


Рисунок 6. – Схема решения задачи 2.3

При практическом применении данного подхода необходимо учитывать, что силам ЗРВ (ЗА) могут ставиться и комплексные боевые задачи. Например: «Прикрыть главную группировку войск и нанести воздушному противнику решительное поражение». Вполне очевидно, что в данном примере боевая задача включает две составляющие (задачи 1.1 и 2.1). Поэтому обобщенный показатель эффективности целесообразно представлять в виде средневзвешенного комплексного показателя. Для учета составляющих в комплексном показателе эффективности необходимо каждой  $i$ -й боевой задаче присваивать весовой коэффициент, соответствующий ее важности. Физический смысл весового коэффициента ( $\gamma_i$ ) – условная доля сил и средств, привлекаемая из состава группировки ЗРВ (ЗА) для ее выполнения. Тогда комплексный показатель ожидаемой эффективности боевых действий будет иметь вид

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \gamma_i \mathcal{E}_i 100 \% . \quad (6)$$

При этом обязательным является выполнение условия  $\sum_{i=1}^I \gamma_i = 1$ .

Вычисленная таким образом величина показателя эффективности имеет широкий диапазон значений и составляет от 0 до 100 %. Это обеспечивает адекватность оценок и имеет явный физический смысл. Логично, например, считать задачу выполненной полностью, если достигается 100 % эффективность. Поэтому предлагается следующая общая оценка уровня эффективности группировки ЗРВ (ЗА) по критериям, соответствующим степени выполнения поставленных боевых задач:

Критерии оценки	Уровень ожидаемой эффективности		
	низкий	средний	высокий
Степень выполнения боевых задач	< 50 %	50–75 %	> 75 %

Предлагаемый подход потребует пересмотра традиционных показателей и критериев интегральной оценки эффективности боевых действий сил ЗРВ (ЗА). Его основными особенностями являются:

1. В качестве критерия оценки выбирается степень выполнения поставленных боевых задач, что соответствует энциклопедическому определению понятия «эффективность».
2. В качестве интегрального показателя ожидаемой эффективности предлагается использовать достигаемые уровни эффективности «низкий», «средний», «высокий», которые принадлежат одному смысловому ряду слов.

3. Обоснованно предлагается использовать более широкий динамический диапазон значений интегрального показателя эффективности (от 0 до 100 %).

Таким образом, предлагаемый методический подход, основанный на использовании критериев двух уровней, позволяет оценить эффективность боевых действий сил ЗРВ (ЗА) в соответствии с современными требованиями, обеспечить соответствие показателей и критериев выполняемым ими боевым задачам.

Данный подход реализован в комплексе программных средств автоматизированной системы поддержки принятия решений и планирования боевых действий командно-штабной машины «Редут» и показал свою жизнеспособность и целесообразность практического использования при принятии рациональных решений в процессе организации ПВО объектов и войск.

#### Список литературы

1. Советская военная энциклопедия: в 8 т. / пред. Н. В. Огарков (гл. ред.) [и др.]. – М.: Воениздат, 1976–1980. – Т. 8. – 1980. – 616 с.
2. Зернов, М. И. О противовоздушной обороне войск в начальный период войны / М. И. Зернов, А. Б. Сержантов // Воен. мысль. – 2003. – № 12. – С. 54–56.
3. Голованев, Ю. К. Эффективность управленческих решений / Ю. К. Голованев, В. И. Третьяк // УННИ-ТЭИ Госплана УССР. – Киев, 1976. – 34 с.
4. Анисимов, И. П. Роль и место принципов военного искусства в управлении войсками / И. П. Анисимов // Воен. мысль. – 1994. – № 9. – С. 21–25.
5. Коледа, А. Н. Методология оценки эффективности применения Вооруженных Сил Республики Беларусь / А. Н. Коледа, А. Г. Отруба // Актуальные проблемы военной безопасности государства, строительства и применения Вооруженных Сил Республики Беларусь: сб. ст. – Минск: НИИ ВС РБ, 2004. – С. 136–146.

---

\*Сведения об авторах

Колодяжный Валерий Владленович,  
 Драгун Владимир Ричардович,  
 УО «Военная академия Республики Беларусь»;  
 Посудевский Александр Андреевич,  
 Пальцев Александр Николаевич,  
 ОКБ ТСП.

Статья поступила в редакцию 02.05.2017

УДК 355.02(476)

## ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОБОРОНА, КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

Любочко О. Н., кандидат военных наук\*

*Сегодня развитие территориальной обороны является одной из основных мировых тенденций в вопросах повышения эффективности обеспечения военной безопасности государств и их вооруженной защиты. Вместе с тем опыт военных конфликтов показывает, что неисчерпаемым источником пополнения сил государства для вооруженной защиты во все времена служил сплоченный народ. В статье на основе методологии военной науки предложен способ разрешения проблемы обеспечения военной безопасности Республики Беларусь и повышения ее военной мощи путем трансформации подходов к строительству территориальной обороны.*

*Today, the development of territorial defense is one of the main world trends in the issues of improving the effectiveness of military security and armed protection of states. At the same time, the experience of military conflicts shows that an all time united people served as an inexhaustible source of replenishing the forces of the state for armed protection. In the article, based on the methodology of military science, a method is proposed for resolving the problem of ensuring the military security of the Republic of Belarus and enhancing its military power by transporting approaches to the construction of territorial defense.*

Анализ современных межгосударственных конфликтов показывает, что применение экономических и идеологических инструментов в интересах обеспечения национальной безопасности является недостаточным. Все более востребованными средствами воздействия на противоположную сторону становятся военная сила и угроза ее применения. При этом средства вооруженной борьбы активно используются под эгидой борьбы с терроризмом, сепаратизмом либо борьбы за свободу и демократию. К сожалению, можно констатировать, что в очередной раз мировое сообщество в истории своего развития переживает иллюзию необратимости процессов мирного сосуществования [1].

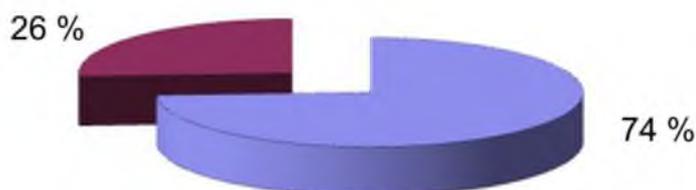
Постоянная трансформация военных и невоенных средств насилия предопределяет необходимость пересмотра и дальнейшего развития существующих взглядов на участие государства в военных конфликтах, особенно на способы их предотвращения, а военная безопасность не только возвращает свои «утраченные» позиции в общей системе международной и национальной безопасности, но и требует кардинального разрешения проблемы ее обеспечения.

Для нашей страны, имеющей средний по масштабу экономический и военный потенциал, главная суть разрешения проблемы обеспечения военной безопасности заключается в ответе на вопрос: «Как существенно повысить возможности государства для сдерживания сильного внешнего противника и ведения последующей с ним борьбы?»

В контексте совершенствования механизмов обеспечения военной безопасности для повышения эффективности вооруженной защиты государства необходим поиск универсального средства стратегического сдерживания и наиболее эффективного ответа на любую возможную вооруженную агрессию с учетом уровня социально-экономического развития государства.

Опыт войн и военных конфликтов различных столетий показывает, что вооруженная защита имеет высокую эффективность, когда наряду с государственными инструментами в виде армии и других регулярных формирований в борьбу вовлекается все общество, придавая противоборству всеобщий, всенародный характер (рисунок 1).

Войны, в которых успех был достигнут по причинам другого характера



Войны, в которых успех был достигнут в результате придания вооруженной борьбе всенародного характера

Рисунок 1. – Вклад всенародного характера вооруженной борьбы в достижение успеха в военном конфликте

Так, всенародная борьба населения Афганистана против агрессии, независимо от исторической эпохи и военного потенциала противоборствующей стороны, приводила к отказу захватчиков от дальнейших военных действий.

Эпоха войн Французской революции, начавшаяся с вторжения армии Австрии и Пруссии во Францию, продемонстрировала значимость всенародной борьбы в достижении победы. С призывом «Отечество в опасности!» за счет массовости вооруженного ополчения французам удалось переломить ситуацию и перенести военные действия на территорию стран-агрессоров [2].

Последующие войны с участием итальянских крестьян, ландштурма и ландвера Германии и Австрии, испанской хунты и российского земского войска показывают, что успех был на их стороне только в случае привлечения народных масс к отражению нашествия Наполеона [3].

Вторая мировая война, война во Вьетнаме также демонстрируют позитивную роль всенародного характера борьбы за независимость.

Опыт современных военных конфликтов в Афганистане, Чечне и Ираке показывает, что, несмотря на принимаемые меры борьбы с партизанами, партизанская тактика за счет внезапности, скоротечности и бесконтактности действий, «растворенности во вражеской среде» при поддержке населения остается актуальным «асимметричным» ответом на любую агрессию.

В истории белорусского народа есть показательный пример всенародной борьбы за свободу и независимость Родины в виде широкомасштабного партизанского движения в ходе Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.

Доктор исторических наук В. Н. Андрианов писал, что «...западные военные теоретики и идеологи в своих «концепциях» и «доктринах» противопартизанской войны дают немало рецептов, сущность которых сводится к беспощадному подавлению повстанческого движения. ...Однако почти все они приходят к заключению, что главным в контрпартизанской войне должна быть борьба за поддержку широких народных масс...».

С опорой на методологию военной науки представляется возможным говорить о наличии *закономерности вооруженной борьбы*, которая определяет зависимость хода и исхода военного конфликта от придания воюющими сторонами вооруженной борьбе всенародного характера.

Сравнительный анализ статистики войн и военных конфликтов с участием населения в отражении агрессии показан на рисунке 2.

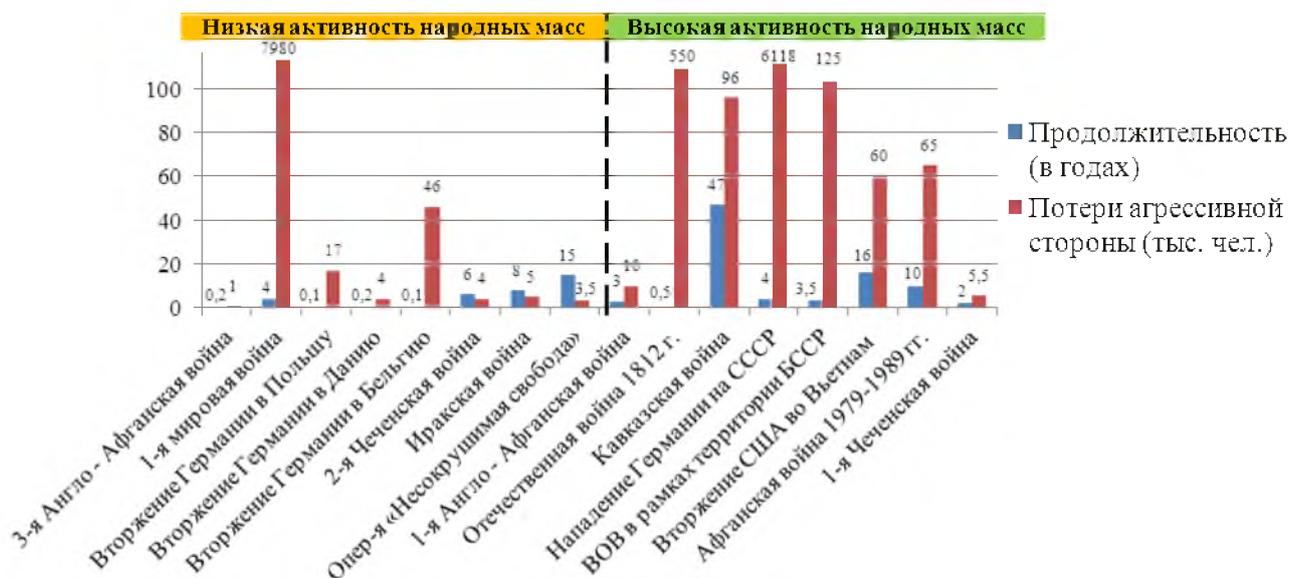


Рисунок 2. – Сравнительный анализ статистики войн и военных конфликтов с участием населения в отражении агрессии

Более того, гипотетически видится и вторая закономерность – зависимость продолжительности войны и потерь агрессивной стороны от активности участия народных масс в отражении агрессии. Массовое народное ополчение, добровольчество, применяемые в форме партизанских действий с использованием тактики внезапности, скоротечности и бесконтактности действий, «растворенности во вражеской среде», способны нанести противнику неприемлемый для него ущерб, вызвать затяжной характер войны, и, как следствие, способствовать увеличению финансово-материальных затрат агрессора и обострению социально-политической обстановки среди слоев его населения. Поэтому организация активного привлечения народных масс к отражению агрессии является «асимметричным» ответом на агрессию. По сути, активное участие населения в обороне государства ведет к затяжному характеру войны, потери агрессора значительно возрастают или противник на начальном этапе несет несоизмеримые потери и отказывается от своих намерений (см. рисунок 2).

С учетом стремления агрессора к минимизации своих потерь и проведению молниеносной войны («блицкрига») всенародный характер борьбы может быть использован как фактор стратегического сдерживания. Другими словами, большие потери личного состава и затяжной характер войны приведут к недовольству общества страны-агрессора и его финансово-материальным затратам.

Президент США Никсон в своих мемуарах писал, что видел две возможности закончить войну во Вьетнаме «нокаутирующими ударами». Первая состояла в разрушении системы плотин, что повлекло бы за собой «гибель сотен тысяч гражданских лиц», вторая – в «использовании тактического ядерного оружия». И если он не пошел ни по одному из вышеозначенных путей, то лишь потому, что понимал, что «не сможет заручиться поддержкой общественности». Он признавал, что от принятия решения его удержал «внутренний и международный взрыв возмущения, который сопровождал бы любой из этих нокаутирующих ударов», т. е. он был вынужден учитывать массовый антивоенный протест как реальный политический фактор [4–6].

Огромные потери, которые несли США в войне, рост отказников, сокращение социальных программ – все это сыграло большую роль в росте антивоенных настроений в американском обществе (рисунок 3).

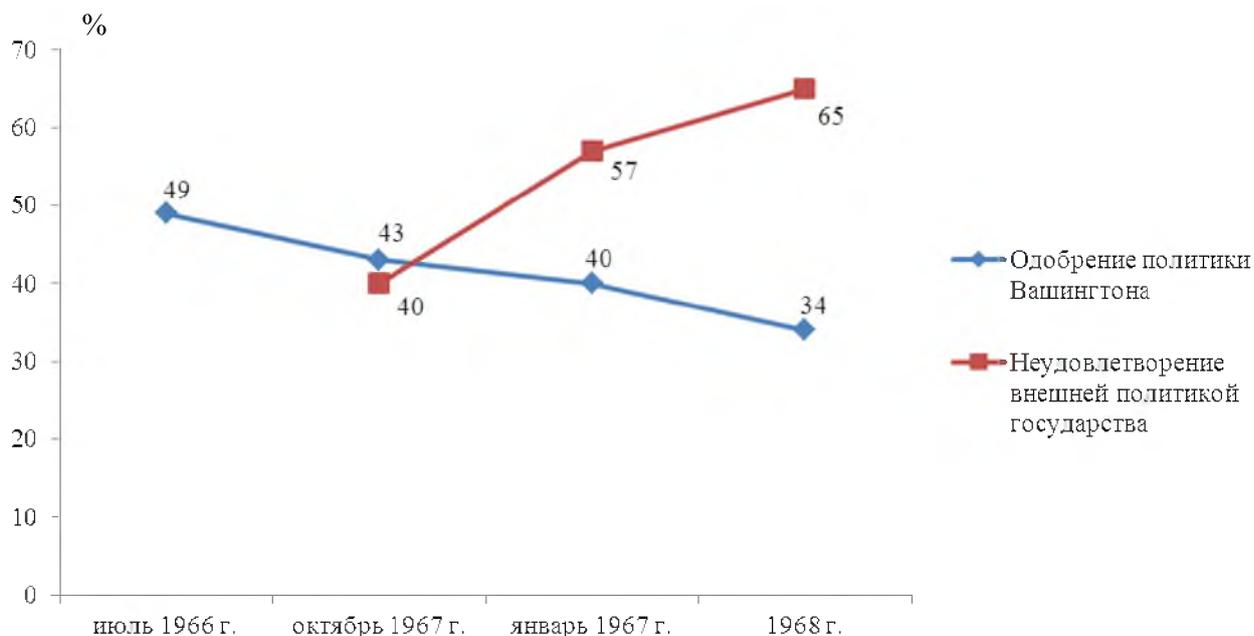


Рисунок 3. – Динамика роста недовольства политикой правительства США во Вьетнаме со стороны американских граждан

Более того, известия об огромных жертвах среди мирного населения усиливали отрицательное отношение к действиям США во Вьетнаме у мирового сообщества. По сути, постоянными беспокоящими действиями партизан, результатом которых были значительные потери со стороны американских войск, была решена еще одна задача – создание негативного общественного мнения по отношению к войне во Вьетнаме.

Следовательно, осознание силы «всенародной вооруженной борьбы» и ее способности сорвать агрессию или же лишить ее смысла путем нанесения неприемлемого ущерба противнику всецело укладываются в теорию стратегического сдерживания государством [7].

Намерения придать отражению агрессии всенародный характер отвечают таким принципам стратегического сдерживания, как решимость военно-политического руководства применить весь имеющийся в его распоряжении арсенал сил и средств, реализуемость заявленных действий и неотвратимость возмездия. Поэтому инструмент стратегического сдерживания, реализующий всенародный характер вооруженной борьбы, должен быть связан с выполнением соответствующих силовых мер военного характера, а его функционирование будет осуществляться с учетом боевых возможностей вооруженных сил, а также современных тенденций смещения акцентов в сторону нетрадиционных, асимметричных действий.

В подобном ключе одной из целей территориальной обороны Республики Беларусь является придание вооруженной защите государства всеобщего, всенародного характера [8]. На этом неоднократно делает акцент в своих выступлениях по вопросам обороны и обеспечения военной безопасности Глава белорусского государства [9]. Данная цель в настоящее время закладывается в основу идеологии привлечения граждан к мероприятиям по подготовке территориальной обороны и территориальных войск. Можно констатировать, что в определенной мере в теории и на практике состоялась белорусская модель территориальной обороны, которая сочетает в себе реальную возможность повышения военного потенциала за счет внутренних ресурсов государства и придает вооруженной защите страны всенародный характер. Подготовку территориальной обороны и готовность к ее ведению можно рассматривать в качестве вышеобозначенных силовых мер стратегического сдерживания государством, а саму территориальную оборону – их реализующим инструментом.

Реализация идеи территориальной обороны Республики Беларусь началась 15 лет назад. В структуре военной организации государства на военное время появились территориальные войска, а подготовка территориальной обороны стала одной из повседневных задач органов государственного управления. В национальном сегменте военной науки активно развивается теория территориальной обороны, созданы научные подразделения для проведения соответствующих военно-научных исследований. Также в практику ежегодных мероприятий по подготовке силовых структур государства прочно вписались учения и тренировки с органами управления территориальной обороны и формированиями территориальных войск.

Детальное изучение иностранного опыта создания территориальной обороны, а также строительства территориальных войск позволяет сделать ряд существенных выводов [10].

Прежде всего следует отметить, что комплектование войск территориальной обороны большинства зарубежных стран происходит на добровольной основе. Применение данного основополагающего принципа позволяет иметь в войсках личный состав с высокими морально-духовными качествами и патриотическим настроем, что, безусловно, сказывается на его боеспособности. При наличии патриотических идей, спланивающих общество перед лицом предполагаемого врага, добровольный характер способствует созданию массовой армии народного ополчения, сопоставимой с национальными вооруженными силами. В некоторых случаях, например в государствах Балтии, войска территориальной обороны в военное время приобретают характер основного реализующего компонента вооруженной защиты государства, отодвигая на второй план кадровую армию и полицейские структуры.

В белорусском варианте территориальные войска комплектуются по призыву, т. е. недобровольно, с учетом законодательных ограничений. Из-за этого они имеют по сравнению с Вооруженными Силами невысокую численность, что ставит под сомнение реализацию сущности всенародного характера вооруженной защиты государства, а в целом – достаточность военного потенциала для обеспечения гарантированного отражения агрессии.

Надо полагать, что разрешение данного противоречия возможно, если территориальные войска Республики Беларусь станут массовым инструментом вооруженной защиты общества и государства, формирующимся на добровольной основе, безо всяких ограничений. Кроме того, это позволит консолидировать (сплотить) общество в сложных социально-политических условиях гибридного противоборства.

Конфликт в Украине более рельефно обозначил современную тенденцию развязывания вооруженного конфликта в виде гибридной агрессии, с использованием обострения социально-политической обстановки внутри страны и провоцированием радикально настроенных политических сил. Следует учесть, что применение в украинском обществе средств вооруженной борьбы стало неконтролируемым со стороны государства. Одна из причин подобного явления – нарушение функционирования системы государственного управления и, соответственно, бездействие регулярных сил военной организации государства. Необходимо принять во внимание, что в это время повышается вероятность осуществления военной интервенции со стороны иностранных государств или военно-политических блоков. На основе этого можно сделать вывод о полном отсутствии военной безопасности государства и общества в рассмотренных условиях. К тому же, наиболее ярко сущность данного конфликта проявилась в широком применении с обеих сторон иррегулярных вооруженных формирований, создаваемых на добровольной основе и являющихся наиболее боеготовыми, способными противостоять во всех отношениях регулярной армии среднего по масштабу государства. В свою очередь, территориальная оборона стала единственным средством защиты населения в городах и других населенных пунктах, где развернулись боевые действия.

Как показывает анализ современных военных конфликтов, условия их протекания характеризуются определенным перманентным периодом нестабильности общественных отношений на всей территории страны или в ее отдельных местностях. Такая нестабильность олицетворяет периоды времени, когда нельзя с уверенностью сказать, что происходит на

данном пространстве «серой зоны», мир или война [11]. Сейчас в таком состоянии живет население большинства африканских стран и стран Ближнего Востока. Подобная проблема становится характерной и для некоторых государств на постсоветском пространстве.

В обозначенных условиях территориальная оборона является чуть ли не единственным и наиболее эффективным инструментом обеспечения военной безопасности государства, а территориальные войска – инструментом вооруженной защиты общества. Таким образом, необходимость наличия у местных органов управления и населения таких действенных инструментов с каждым моментом времени возрастает.

Из всего вышесказанного следует, что территориальная оборона – один из значимых инструментов обеспечения военной безопасности государства и наиболее эффективный в условиях социально-экономического развития. Для того чтобы территориальная оборона получила еще более очевидные преимущества, необходимо:

придать ей характер не вспомогательного или обеспечивающего, а реализующего инструмента вооруженной защиты, заложив в основу формирования территориальных войск добровольное участие населения и общую для общества консолидирующую патриотическую идею;

конкретизировать существующие задачи территориальной обороны и территориальных войск, уточнив их роль и место в системе обеспечения военной безопасности государства с учетом задач стратегического сдерживания, особенностей развязывания и протекания современных военных конфликтов.

В заключение целесообразно отметить, что придание обороне государства всеобщего (всенародного, тотального) характера путем организации территориальной обороны является одним из актуальных «асимметричных» ответов на любую агрессию и, соответственно, инструментом стратегического сдерживания, а выполнение приведенных мер, наряду с другими, позволит гарантированно разрешить проблему обеспечения военной безопасности страны в современных условиях.

#### Список литературы

1. Лебедева, М. М. Политическое урегулирование конфликтов: учеб. пособие / М. М. Лебедева. – М.: Аспект Пресс, 1999. – 271 с.
2. Тарле, Е. В. Наполеон / Е. В. Тарле – М.: Гос. соц.-экон. изд-во, 1939. – 352 с.
3. Военная энциклопедия: в 18 т. / редкол.: К. И. Величко [и др.]. – СПб.: Изд-во И. Д. Сытина, 1910–1915. – Т. 14: К – Л / К. И. Величко [и др.]. – 1914. – 612 с.
4. Дэвидсон, Ф. Б. Война во Вьетнаме (1946–1947 гг.) / Ф. Б. Дэвидсон; пер. А. Колина. – М.: Изографус: Эксмо, 2002. – 814 с.
5. История США: в 4 т. / редкол.: Г. Н. Севастьянов (гл. ред.) [и др.]. – М.: Наука, 1987. – Т. 4: 1945–1980 гг. / В. Л. Мальков [и др.]. – 1987. – 292 с.
6. Шаврова, Н. А. Влияние антивоенного движения в США на исход американо-вьетнамской войны / Н. А. Шаврова // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по материалам XI Междунар. студен. науч.-практ. конф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://sibac.info/archive/meghdis/8\(11\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/8(11).pdf). – Дата доступа: 03.02.2017.
7. Военная стратегия: учеб.: в 3 ч. / П. Н. Муравейко [и др.]; под общ. ред. генерал-майора О. А. Белоконева. – Минск: ВА РБ, 2015. – Ч. 2: Основы подготовки и применения Вооруженных Сил. – С. 247–276.
8. Мальцев, Л. С. Территориальная оборона в системе национальной безопасности / Л. С. Мальцев // Интернет-портал Минобороны Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mil.by/ru/news/press\\_center/publications/8489/](http://www.mil.by/ru/news/press_center/publications/8489/). – Дата доступа: 21.02.2017.
9. Лукашенко, А. Г. Только всенародный характер обороны может гарантировать успешную защиту государства / А. Г. Лукашенко // Информ.-аналит. портал Союзного

государства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soyuz.by/news/security/24580.html>. – Дата доступа: 21.02.2017.

10. Лемеха, С. Территориальная оборона: практика и теория / С. Лемеха // Интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ostanovkam.net/index.php/26-ruv/324-territorialnaya-oborona-praktika-i-teoriya>. – Дата доступа: 21.02.2017.

11. Терс, Н. Победа, поражение или ничья / Н. Терс // Интернет-портал «Война и мир» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.warandpeace.ru/ru/analysis/view/116053>. – Дата доступа: 21.02.2017.

---

\* Сведения об авторе:

Любочко Олег Николаевич,

ГУ «НИИ ВС РБ».

Статья поступила в редакцию 24.04.2017 г.

УДК 355.1

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

П. Н. Муравейко, П. В. Примак \*

*На основе опыта практической деятельности центральных органов военного управления по реализации мероприятий строительства Вооруженных Сил в статье поднимаются вопросы повышения качества научного сопровождения процесса планирования строительства и развития Вооруженных Сил на долгосрочную перспективу.*

*The article is based on the practical experience of the central bodies of military command in construction of the Armed Forces and raises the issues on improvement of the quality of scientific support for the planning of the construction and development of the Armed Forces in long-term outlook.*

Отечественная практика строительства Вооруженных Сил наглядно показывает, что их развитие является не только важным, но и исключительно дорогостоящим процессом решения политических и стратегических задач. Кроме того, реализация данного процесса требует значительного временного интервала, исчисляемого годами, а иногда и десятками лет.

На сегодняшний день мы имеем стройные взаимосвязанные системы текущего и среднесрочного планирования (рисунок 1), позволяющие развивать выбранные приоритеты в строительстве Вооруженных Сил, в том числе в их подготовке и оснащении, с учетом решаемых задач по обеспечению военной безопасности государства на различных этапах эскалации обстановки и в ходе отражения агрессии.



Рисунок 1. – Система планирования строительства и развития Вооруженных Сил Республики Беларусь

В соответствии с выделяемым финансированием выполняются мероприятия по оснащению войск современными образцами вооружения и военной техники. Решаются

проблемы укомплектованности Вооруженных Сил, прежде всего офицерских должностей. Идет планомерное избавление от неприменяемых в войсках излишков техники, боеприпасов, военно-технического имущества. Система дислокации войск и состояние военных городков приводится в соответствие предъявляемым к ним требованиям.

Вместе с тем накопленный опыт показывает, что развитие Вооруженных Сил должно не только отвечать действительности, но и обладать теоретически обоснованным заделом на будущее, по возможности, со значительным упреждением по времени. В связи с этим разработка проекта новой Концепции строительства и развития Вооруженных Сил Республики Беларусь до 2030 г. начата с опережением рекомендуемых теорией сроков. Сделано так было в первую очередь для того, чтобы получить определенный резерв времени именно для тщательной научной проработки документа долгосрочного планирования.

На сегодняшний день существует несколько проблем долгосрочного планирования строительства и развития Вооруженных Сил.

*Первая проблема* обусловлена необходимостью определения требуемого соотношения расходов на содержание и развитие Вооруженных Сил с учетом выделяемого финансирования.

В феврале 2015 г. Президенту Республики Беларусь был доложен замысел развития Вооруженных Сил на следующие пять лет с предложениями по объему финансирования, необходимому для достижения поставленных целей.

Глава государства определил источники и уточнил количество выделяемых средств соответственно возможностям страны, указал направления сокращения расходов на содержание Вооруженных Сил. В первую очередь это касалось сокращения неприменяемых в перспективе хранимых запасов вооружения и военно-технического имущества.

При реализации одобренного Президентом страны замысла на основе итогов проведенных мероприятий оптимизации за предыдущие пять лет к исходу 2016 г. была обеспечена доля средств, выделенных на развитие Вооруженных Сил, превышающая 30 %.

С одной стороны, в процентном отношении эта доля превышает долю средств, выделенных в 2016 г. на развитие вооруженных сил экономически развитых стран НАТО (рисунок 2).

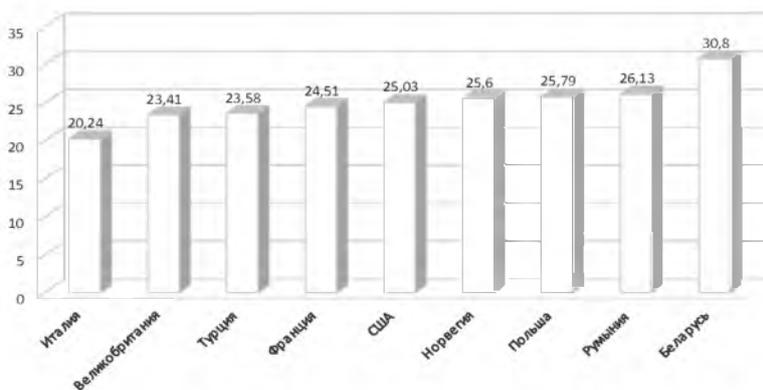


Рисунок 2. – Доля средств, выделенных отдельными странами НАТО и Республикой Беларусь на развитие национальных вооруженных сил в 2016 г.

С другой стороны, перечень государственных программ в области обороны не был профинансирован в полном объеме. Оснащение войск новыми средствами вооружения и военной техники осуществляется по-прежнему точно.

Что можно изменить в подобной ситуации?

Во-первых, необходимо проанализировать возможность дальнейшего изменения соотношения расходов, выделяемых на содержание и развитие Вооруженных Сил, тщательно просчитать, следует ли придерживаться достигнутого соотношения «70 к 30», или, к примеру, принять кардинальное решение и на несколько лет обеспечить соотношение «50 на 50», тем самым сделав технологический прорыв в оснащении Вооруженных Сил.

Также требуется предусмотреть, какие негативные последствия и риски от подобного подхода могут возникнуть и как их минимизировать.

Во-вторых, следует пересмотреть подходы, используемые при выборе приоритетов долгосрочных целей, а именно – применение новых методик военно-экономического анализа, позволяющих определять рациональный вариант развития с наиболее эффективным использованием выделяемых ресурсов.

Реализовать используемый ранее принцип выбора по показателям «эффективность – стоимость – реализуемость в установленные сроки» не всегда удается. Так, проведение закупок вооружения или военной техники малыми партиями при отсутствии у поставщика возможности выйти на массовое серийное производство приводит к повышению стоимости продукции. Не всегда возможно определить сроки реализации программ приобретения перспективных образцов вооружения и военной техники или проведения опытно-конструкторских работ по их созданию.

Мировой опыт показывает, что проведение опытно-конструкторских работ (реализация программ приобретения) по разработке высокотехнологических образцов вооружения и военной техники (особенно с незрелым научно-техническим заделом) по сравнению с первоначальной оценкой способствует увеличению сроков создания в среднем в 1,9 раза, стоимости разработки – в среднем на 40 %, стоимости закупки серийных образцов – на 20 %.

*Вторая проблема* касается необходимости определения в складывающихся условиях оптимального соотношения структурных компонентов Вооруженных Сил мирного и военного времени.

На протяжении длительного периода структура Вооруженных Сил (рисунок 3) основывалась на необходимой достаточности ресурсов для обороны и мобилизационного развертывания в случае развязывания крупномасштабной войны.

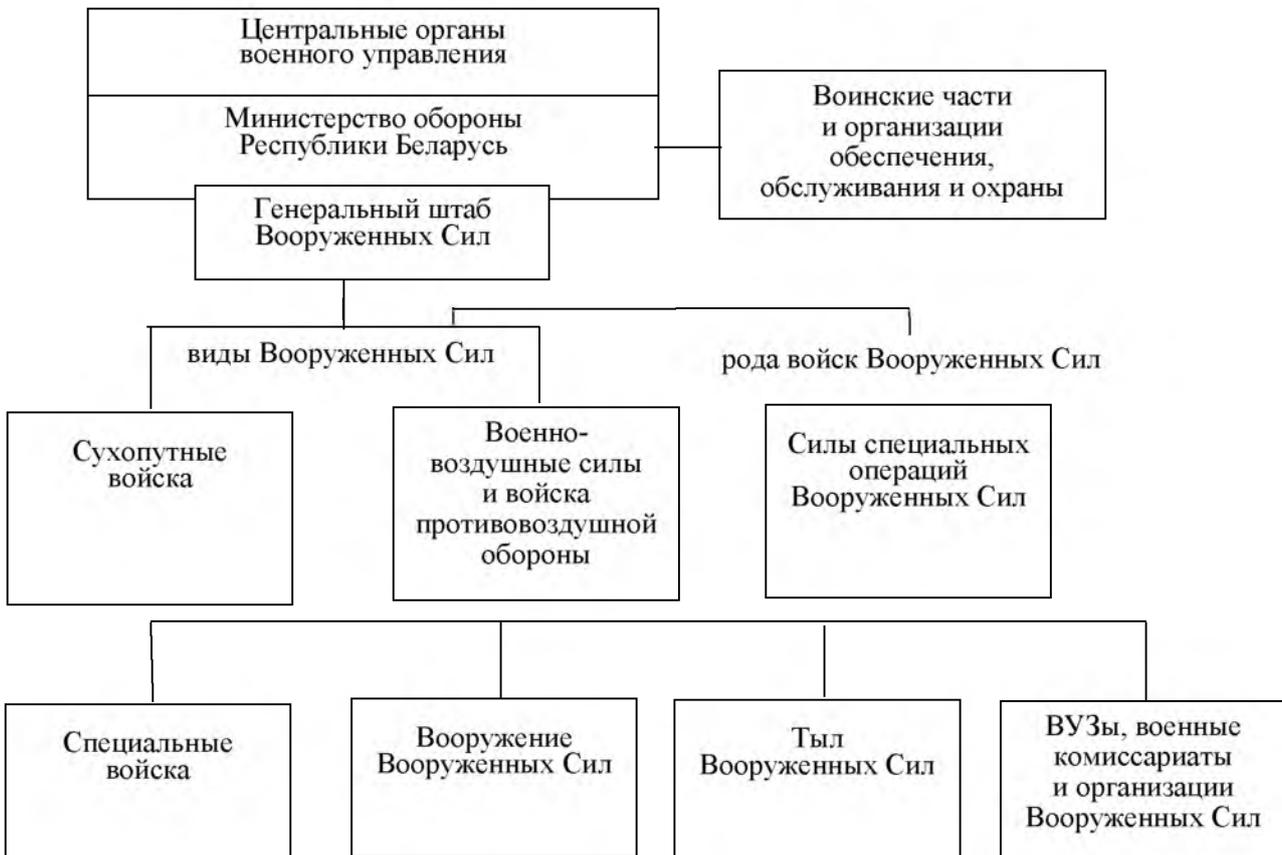


Рисунок 3. – Структура Вооруженных Сил

Такой подход предполагает, что в период нарастания военной угрозы воинские формирования будут доукомплектовываться личным составом, вооружением и военной техникой. Большое количество воинских частей и соединений, особенно в Сухопутных войсках, содержится в сокращенном или скадрованном составе.

Изменения военно-политической и стратегической обстановки в мире и в Восточно-Европейском регионе коллективной безопасности сделали актуальной задачу по снижению сроков готовности войск к обеспечению вооруженной защиты суверенитета и территориальной целостности государства.

Решением данной задачи является установление «золотой середины» в соотношении численности боевого компонента Вооруженных Сил мирного и военного времени. Иными словами, необходимо ответить на вопросы: «До какой степени должны быть скадрованы те или иные воинские части? Сколько нужно сил, чтобы выполнить поставленные задачи уже на начальном этапе конфликта?» (рисунок 4). При этом, с одной стороны, следует уменьшить коэффициент мобилизационной потребности, с другой – остаться в установленных общих пределах численности и уложиться в выделяемые государством средства на содержание армии.

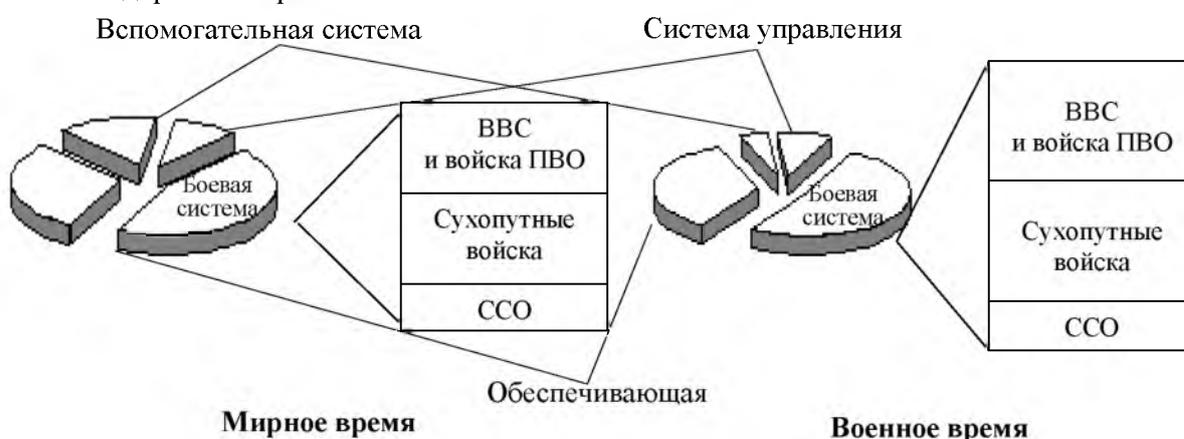


Рисунок 4. – Соотношение численности функциональных систем Вооруженных Сил мирного и военного времени

Проблема не является простой [1]. Ее решение напрямую зависит от определенного порядка выполнения задач, а именно:

каким в составе боевого компонента мирного времени должно быть соотношение численности видов и рода войск Вооруженных Сил;

насколько должна измениться численность компонентов, входящих в обеспечивающую систему Вооруженных Сил, – тыла, вооружения, специальных войск, чтобы сохранить их возможности по выполнению задач по предназначению;

как обеспечить подготовку военнообученного резерва по специальностям, которые в мирное время становятся невостребованными.

В настоящее время решение всех перечисленных задач осуществляется методом проб и ошибок. На тренировках и учениях создаются различные условия внешней и внутренней обстановки, по которым определяется баланс сил и средств.

Вместе с тем и сроки решения, и затрачиваемые на его поиск время и средства можно было бы существенно сократить при наличии соответствующего научно обоснованного математического аппарата.

*Третья проблема* заключается в том, что к исходу 2025, максимум 2030 г. большинство образцов техники и вооружения достигнет своего предела в модернизации. По ряду образцов надо будет принимать непростые решения о снятии с вооружения либо дальнейшем продлении ресурса.

Следовательно, уже сейчас необходимо определиться с тем, каким образом будет обеспечиваться безопасность страны, что будет приниматься на вооружение и снабжение через 10–15 лет.

В современных экономических условиях требуется четко понимать, что из перспективных образцов будет разрабатываться нашим оборонным сектором экономики, а что придется закупать за рубежом.

Когда-то было традиционным проведение в Национальной академии наук Беларуси совместных семинаров. Обсуждались актуальные проблемы развития науки и техники; академические институты, университеты, предприятия промышленности находили потенциальных заказчиков своих инициативных разработок. Сегодня такой практики нет.

Рассмотрим пример. Первоначально Государственная программа вооружения, будучи одним из ключевых механизмов реализации целей строительства Вооруженных Сил, разрабатывалась как долгосрочный документ. Десятилетний цикл планирования увязывался с этапами инновационного развития вооружения, военной и специальной техники – от разработки до создания и внедрения перспективных образцов.

Для исключения «распыления» денежных средств закладывалась идея системных проектов. Тематика научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, закупка наиболее дорогостоящих новых комплексов и систем вооружения, модернизация имеющихся образцов были направлены на достижение четко поставленных целей – развитие системы борьбы

с высокоточным оружием, разработку беспилотных авиационных комплексов, создание интегрированных систем «солдат – оружие», организацию производства универсальных средств подвижности вооружения (рисунок 5).



Рисунок 5. – Решение приоритетных задач строительства Вооруженных Сил через реализацию системных проектов развития вооружения и военной техники

Экономическая ситуация в стране указала на необходимость планирования и реализации Государственной программы вооружения пятилетними периодами [2]. Вместе с тем идея использования системных проектов показала свою эффективность. Именно благодаря им Вооруженные Силы получили радиолокационные станции «Роса» и «Восток», интерес к которым уже проявляют и за рубежом, идет оснащение войск беспилотными авиационными комплексами «Москит», «Бусел», «Формула».

Все это стало возможным, в том числе и потому, что были четко определены достижимые приоритеты. Однако сегодня от ученых в погонах каких-либо взвешенных рекомендаций по выбору новых направлений развития не поступает.

Кроме того, остаются незавершенными ряд востребованных в настоящее время разработок [3], не используется уже созданный научно-технический задел (например, система моделирования военных действий, которая не только не потеряла свою актуальность, но в условиях необходимости разработки систем поддержки принятия решений должностных лиц всех уровней управления – от тактического до стратегического – обрела еще большую значимость).

Еще один пример. Не только у нас, но и за рубежом возрастает актуальность наличия систем противодействия беспилотным летательным аппаратам. Большая работа в этом направлении была проведена нашими учеными еще в 2006–2010 гг. В настоящее время появились интересные наработки в других странах. А достойных предложений от нашей военной науки по развитию эффективных средств борьбы с дронами до сих пор нет.

Таким образом, строительство Вооруженных Сил, особенно этап прогнозирования на долгосрочную перспективу, следует рассматривать не только как практическую деятельность военного руководства, но и как составную часть военной науки. Планирование, как и любое действие, направленное в будущее, сопряжено с высоким уровнем неопределенности. Трансформируется соотношение сил в мире, возникают новые угрозы безопасности страны, меняется внутриэкономическая ситуация. Практически для всех факторов, учитываемых при прогнозировании и планировании, характерна большая или меньшая степень изменчивости.

В складывающихся условиях для автоматизации проводимых расчетов необходим методический аппарат, позволяющий взвешенно определять варианты действий при изменении внешней и внутренней обстановки: планировать изменение доли расходов на содержание и развитие армии, вырабатывать рекомендации по составу боевого компонента Вооруженных Сил на основе стоимости содержания входящих в его состав систем, долевого участия в поражении противника, других факторов.

Требуется тщательно изучить возможности оборонного сектора экономики, укрепить имеющиеся направления взаимодействия, наладить новые. Ни одна инициативная разработка, имеющая для нас значимость, не должна остаться без нашего внимания. В данном вопросе надо активнее использовать потенциал военных факультетов и кафедр.

Наша задача на сегодняшний день – не только предвидеть изменения в характере войны, но и четко представлять, как к таким изменениям готовиться. Для этого теория и практика должны выработать единую точку зрения на решение поставленных в статье вопросов.

#### Список литературы

1. Основы теории и методологии планирования строительства Вооруженных Сил Российской Федерации / под общ. ред. А. В. Квашнина. – М.: Воентехиздат, 2002. – 232 с.
2. О государственной программе вооружения и государственном оборонном заказе: Закон Респ. Беларусь от 18 мая 2007 г. № 232-З.
3. Кривonos, О. К. Направления развития элементов систем вооружения в условиях изменяющегося характера вооруженной борьбы / О. К. Кривonos // Наука и воен. безопасность. – 2011. – № 1. – С. 45–49.

---

Сведения об авторах:

Муравейко Павел Николаевич,

Примак Павел Валерьевич,

Генеральный штаб Вооруженных

Сил Республики Беларусь.

Статья поступила в редакцию 29.04.2017 г.

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

---

УДК 621.372.512

## МЕТОДИКА СИНТЕЗА КОНФОРМНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ПРОИЗВОЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

М. О. Бусел\*

*Статья посвящена методике численного синтеза конформных антенных решеток (АР) заданной конструкции, учитывающей направленные свойства излучающих элементов и произвольное расположение их на раскрыве. Суть методики заключается в разложении в ряд Фурье по системе двумерных базисных функций параметрически заданной диаграммы направленности конформной антенной решетки. Предложенные базисные функции содержат информацию о конструктивных особенностях конформной антенной решетки и направленных свойствах ее излучающих элементов. Данные функции используются при расчете амплитудно-фазовых распределений на раскрыве конформных антенных решеток.*

*Представлены результаты численного синтеза сферической, цилиндрической и конической антенных решеток с произвольным расположением излучателей. Показано, что предложенная методика практически не имеет ограничений на геометрию излучающего раскрыва.*

*Article is devoted a technique of numerical synthesis conformal array lattices of the set design considering directed properties of radiating elements, and their any arrangement on aperture. The technique essence consists in decomposition abreast Fure on system of two-dimensional basic functions parametrically the set diagramme of an orientation conformal array lattices. The offered basic functions comprise the information on design features conformal array lattices and the directed properties of its radiating elements. The given functions are used at calculation of peak-phase distributions on aperture conformal array lattices.*

*Results of numerical synthesis of spherical, cylindrical and conic array lattices with any arrangement of radiators are presented. It is shown that the offered technique practically has no restrictions on geometry radiating aperture.*

**Введение.** На современном этапе развития антенной техники среди наиболее актуальных следует выделить вопросы, связанные с размещением излучающих элементов АР на конформных (выпуклых) поверхностях, например сфере, цилиндре, конусе, эллипсоиде и т. п. Такой класс АР принято называть конформными фазированными антенными решетками (КФАР) [1–3]. На практике значительный интерес представляют возможности КФАР по обеспечению безискаженного сканирования лучом диаграммы направленности (ДН), созданию нескольких управляемых лучей (многолучевой АР), формированию ДН специальных форм и др. [1–3].

Следует отметить, что линейные и плоские АР представляют собой частный случай КФАР. В литературе подавляющее большинство исследований посвящено сканирующим линейным и плоским решеткам. Класс конформных сканирующих антенн является менее изученным [1, 2]. В первую очередь это обусловлено сложностью теоретического анализа и практической реализации КФАР. Особенности с размещением излучателей, такие как различная ориентация и неэквидистантность при размещении излучателей на поверхности конформных антенных

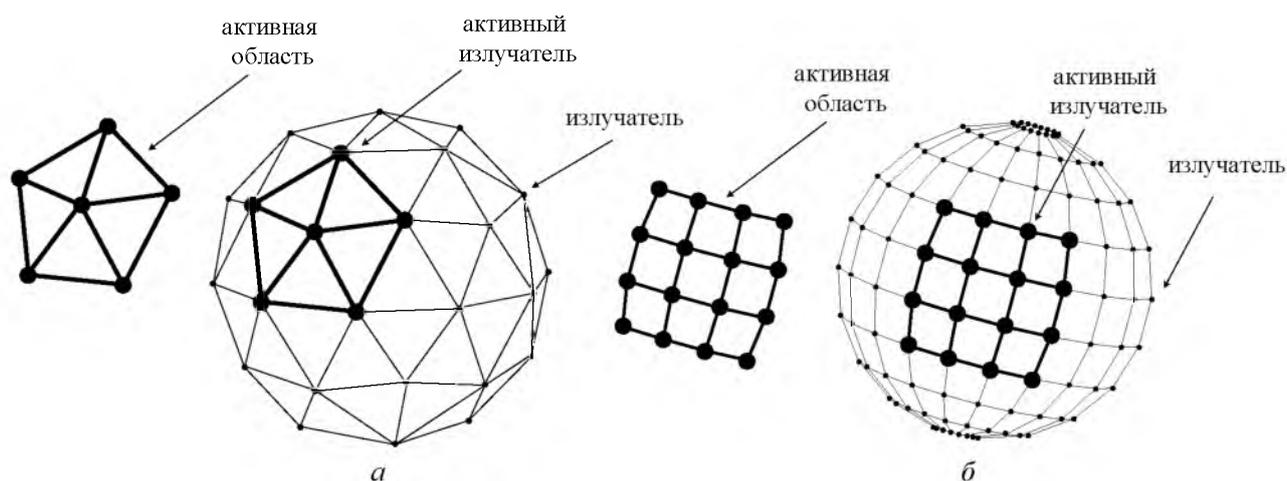
решетках, делает невозможным применение методов синтеза линейных и плоских антенн. Следовательно, есть необходимость в разработке методики синтеза КФАР с произвольным размещением излучателей.

Настоящая статья посвящена разработке методики численного синтеза КФАР, отличающейся возможностью синтезировать конформные антенные решетки с произвольным размещением излучателей; учетом направленных свойств излучателей, а также позволяющей проводить расчет амплитудно-фазового распределения в пределах заданной активной области решетки по требуемой диаграмме направленности.

Под синтезом КФАР будем понимать определение такого амплитудно-фазового распределения (АФР) тока (поля) на ее раскрыве, которое бы обеспечило ДН с требуемыми параметрами. В качестве примера в статье представлены результаты решения задачи синтеза сферической, цилиндрической и конической АР.

**Теоретическая часть.** Известно, что КФАР, в отличие от плоских АР, позволяют сохранять практически неизменными ширину и форму луча ДН при сканировании. Это обеспечивается перемещением излучающей области по поверхности КФАР (так называемым коммутационным методом). При этом размеры, форма и количество одновременно задействованных элементов излучающей области (активной области КФАР), как правило, остаются неизменными.

Среди КФАР можно выделить сферические антенные решетки (САР). Расположение излучателей на поверхностях таких решеток выполняется в узлах гексагональной (рисунок 1, *а*) или прямоугольной сетки (рисунок 1, *б*). Применительно к плоским решеткам гексагональное размещение излучателей, по сравнению прямоугольным, позволяет значительно уменьшить число элементов в решетке, поскольку в этом случае на каждый элемент приходится примерно на 15 % площади раскрыва больше [1–4]. Сказанное справедливо также и для КФАР, поскольку при устремлении радиуса САР в бесконечность свойства активной области такой решетки приближаются к свойствам плоской решетки.



*а* – размещение излучателей в узлах гексагональной сетки; *б* – размещение излучателей в узлах прямоугольной сетки

Рисунок 1. – Активная область сферической антенной решетки

На основании вышесказанного будем рассматривать конструкции КФАР с гексагональным размещением излучателей. В качестве примера на рисунке 2 показан вид сферической, цилиндрической и конической АР с указанием конструктивных параметров.

В общем случае они представляет собой систему из  $N$  излучателей, расположенных на сферической (радиуса  $R$ ), цилиндрической (радиуса  $R$  и высоты  $H$ ) и конической (большого  $R_1$ , малого  $R_2$  радиусов и высоты  $H$ ) поверхностях соответственно. Расстояние между соседними элементами в решетке обозначено  $\Delta l$ . Размещение излучателей на поверхности КФАР может быть эквидистантным, неэквидистантным и случайным. ДН элемента решетки (в общем случае это комплексная функция)  $F_{1n}(\theta, \varphi)$  совпадает по форме и отличается направлением главного излучения, что позволяет описать ее следующим образом:

$$F_{1n}(\theta, \varphi) = F_1(\theta - \theta_n, \varphi - \varphi_n). \quad (1)$$

Рассмотрим методику синтеза КФАР с произвольным расположением излучателей. Для этого представим нормированную комплексную ДН КФАР в обобщенном виде:

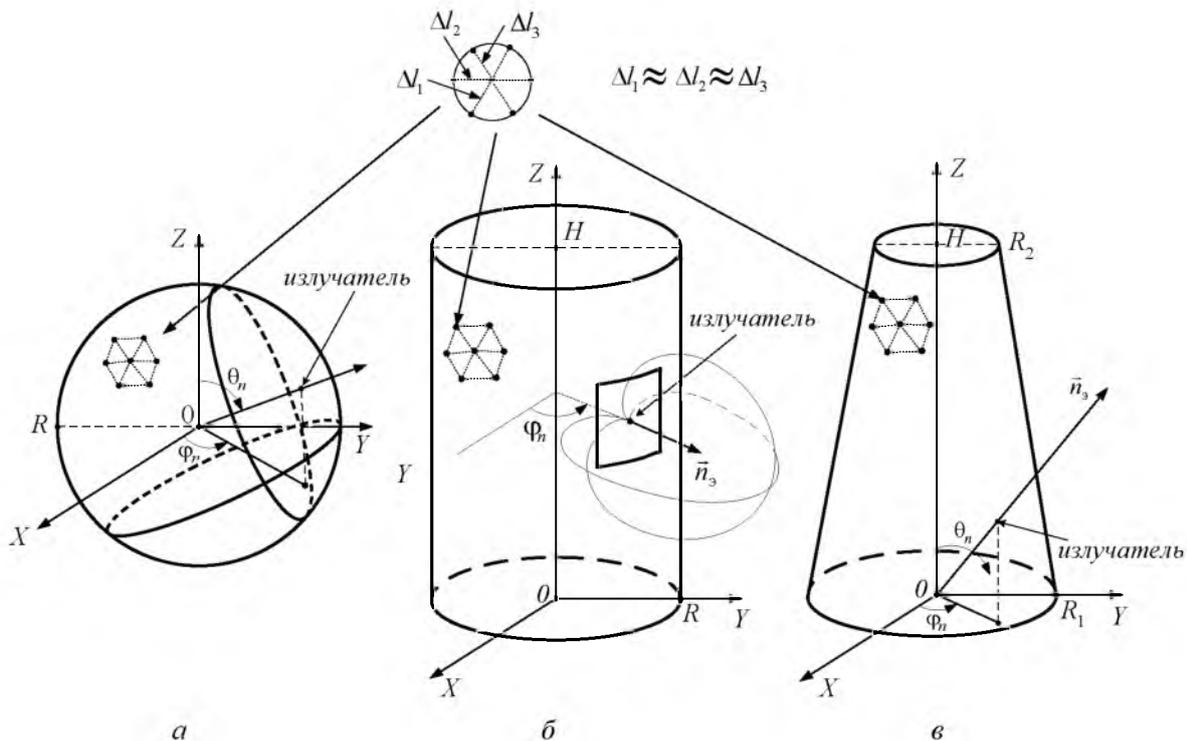
$$\dot{F}(\theta, \varphi) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \dot{A}_n F_{1n}(\theta, \varphi) e^{i O_n(\theta, \varphi)}, \quad (2)$$

где  $N$  – число излучателей АР;  $\dot{A}_n$  – комплексная амплитуда возбуждения  $n$ -го элемента решетки;  $F_{1n}(\theta, \varphi)$  – ДН  $n$ -го излучателя;  $O_n(\theta, \varphi)$  – набег фазы поля от  $n$ -го излучателя до некоторой точки в дальней зоне;  $\theta, \varphi$  – углы сферической системы координат ( $\theta = 0 \dots 180$ ,  $\varphi = 0 \dots 360$ ).

Для случая сферической системы координат  $O_n(\theta, \varphi)$  определяется выражением

$$O_n(\theta, \varphi) = \frac{2\pi}{\lambda} (x_n \sin \theta \cos \varphi + y_n \sin \theta \sin \varphi + z_n \cos \theta), \quad (3)$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $x_n, y_n, z_n$  – декартовы координаты  $n$ -го излучателя.



а – сферической; б – цилиндрической; в – конической

Рисунок 2. – Обобщенный вид конформных антенных решеток

Для случая равномерно возбужденной синфазной КФАР с учетом двумерной кривизны поверхности АФР на раскрыве определяется выражением

$$\dot{A}_n = e^{-iO_{0n}(\theta_0, \varphi_0)}, \quad (4)$$

где  $O_{0n}(\theta_0, \varphi_0) = \frac{2\pi}{\lambda}(x_n \sin \theta_0 \cos \varphi_0 + y_n \sin \theta_0 \sin \varphi_0 + z_n \cos \theta_0)$  – набег фазы поля  $n$ -го излучателя в направлении  $(\theta_0, \varphi_0)$ .

Амплитудно-фазовое распределение (4) обеспечивает синфазное сложение полей излучающих элементов в заданном угловом направлении  $(\theta_0, \varphi_0)$ .

В КФАР, по сравнению с плоскими АР, взаимное влияние излучающих элементов проявляется в меньшей степени. Это обусловлено различной ориентацией излучающих элементов в пространстве, а следовательно, различным направлением их излучения. При этом взаимное влияние элементов в решетке уменьшается с увеличением расстояния между ними. В некоторых случаях при расстоянии между излучателями  $\Delta l > 0,5 \lambda$  взаимным влиянием элементов можно пренебречь (т. е. в выражении (2) использовать ДН излучателей над проводящим экраном в свободном пространстве). Для получения более точных результатов синтеза в выражении (2) необходимо использовать ДН излучателей в составе антенной системы [5, 6].

По аналогии с плоскими АР, в КФАР удобно использовать разделяющееся по строкам и столбцам АФР, плоскости  $\theta$  и  $\varphi$  соответственно при выполнении условий:

$$\begin{aligned} |\dot{A}_n| &= |\dot{A}_{\theta_n}| |\dot{A}_{\varphi_n}|; \\ \arg(\dot{A}_n) &= \arg(\dot{A}_{\theta_n}) + \arg(\dot{A}_{\varphi_n}). \end{aligned}$$

Тогда АФР на раскрыве КФАР можно представить в виде разложения (в общем случае) в бесконечный ряд Фурье для двумерной функции:

$$\dot{A}_n = \sum_{s=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \{ \dot{a}_{l,s} S_{l,s}[\theta_n, \varphi_n] + \dot{b}_{l,s} C_{l,s}[\theta_n, \varphi_n] \}, \quad (5)$$

где  $\dot{a}_{l,s}, \dot{b}_{l,s}$  – двумерные комплексные коэффициенты разложения;  $S_{l,s}[\theta_n, \varphi_n], C_{l,s}[\theta_n, \varphi_n]$  – двумерные тригонометрические функции разложения (синусы и косинусы кратного аргумента) [6].

После подстановки (5) в (2) выражение для комплексной нормированной ДН КФАР можно представить следующим образом:

$$\dot{F}(\theta, \varphi) \approx \sum_{s=0}^S \sum_{l=0}^L \{ \dot{a}_{l,s} \dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi) + \dot{b}_{l,s} \dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi) \}, \quad (6)$$

где  $L, S$  – конечное число членов ряда Фурье, характеризующее точность разложения по строкам и столбцам;  $\dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi), \dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi)$  – базисные функции.

Выражения для базисных функций имеют вид:

$$\dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{ F_{1n}(\theta, \varphi) S_{l,s}[\theta_n, \varphi_n] e^{-i Q_n(\theta, \varphi)} \}; \quad (7)$$

$$\dot{Z}_{l,s}(\theta, \varphi) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{ F_{1n}(\theta, \varphi) C_{l,s}[\theta_n, \varphi_n] e^{-i Q_n(\theta, \varphi)} \}. \quad (8)$$

Двумерные коэффициенты разложения  $\dot{a}_{l,s}$  и  $\dot{b}_{l,s}$  находятся с использованием стандартной процедуры [7]:

$$\dot{a}_{l,s} = \frac{2}{\pi^2} \int_{-0,5\pi}^{0,5\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F_{mp}(\theta, \varphi) \dot{Z}_{s,l,s}(\theta, \varphi) d\varphi d\theta, \quad (9)$$

$$\dot{b}_{l,s} = \frac{2}{\pi^2} \int_{-0,5\pi}^{0,5\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F_{mp}(\theta, \varphi) \dot{Z}_{c,l,s}(\theta, \varphi) d\varphi d\theta, \quad (10)$$

где  $F_{mp}(\theta, \varphi) = F_{mp}(\theta)F_{mp}(\varphi)$  – требуемая двумерная диаграмма направленности.

Здесь  $F_{mp}(\theta)$ ,  $F_{mp}(\varphi)$  – требуемые в плоскостях  $\theta$  и  $\varphi$  и заданные параметрически одномерные ДН [8].

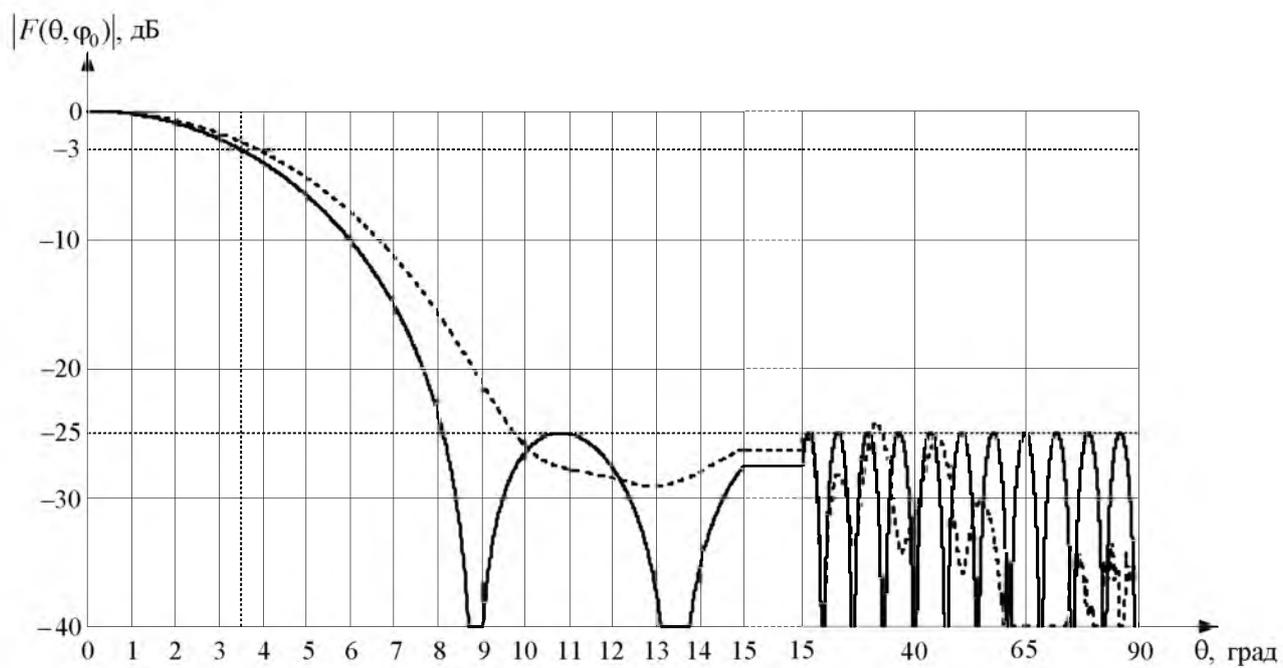
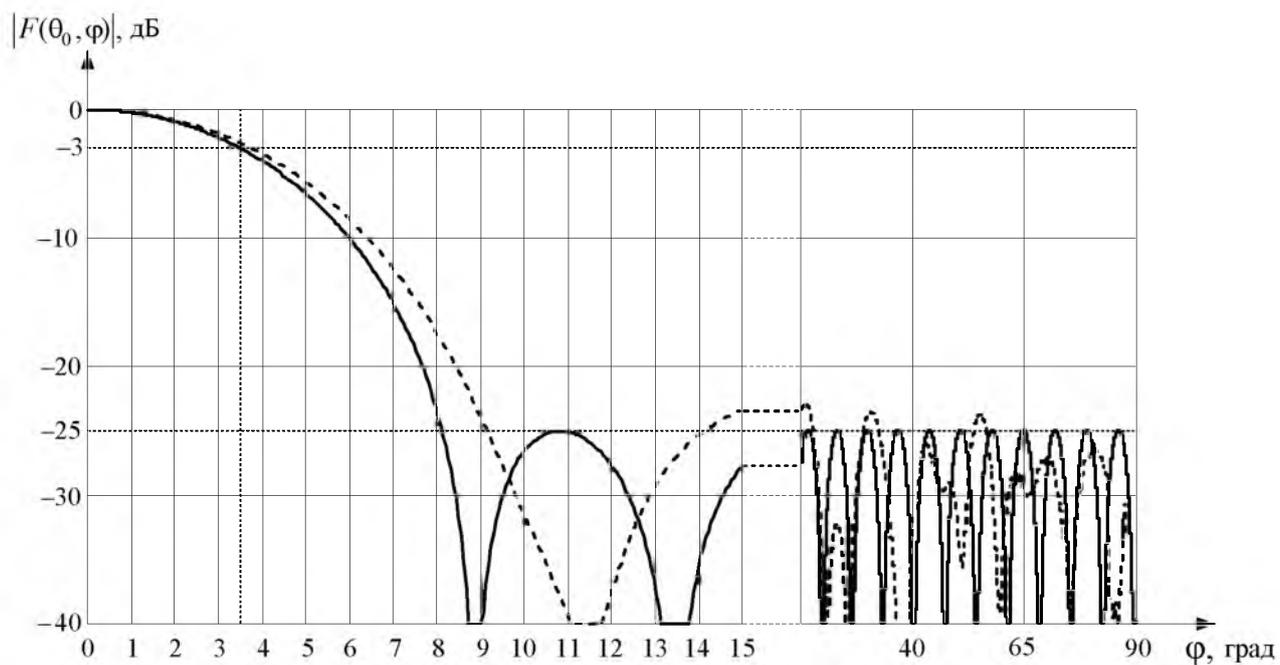
Комплексные коэффициенты  $\dot{a}_{l,s}$  и  $\dot{b}_{l,s}$  используются в (4) для расчета амплитуды возбуждения  $n$ -го элемента решетки. Полученное в результате решения задачи синтеза АФР обеспечивает формирование ДН КФАР с заданными направленными свойствами.

Таким образом, выражения (1)–(10) описывают методику численного синтеза КФАР заданной конструкции. При этом излучающие элементы решетки могут иметь произвольное расположение на раскрыве, в том числе случайное. Для синтеза АР по предложенной методике необходимо аналитическое выражение для требуемой ДН  $F_{mp}(\theta, \varphi)$ , которое может быть получено в соответствии с подходом, представленным в [8].

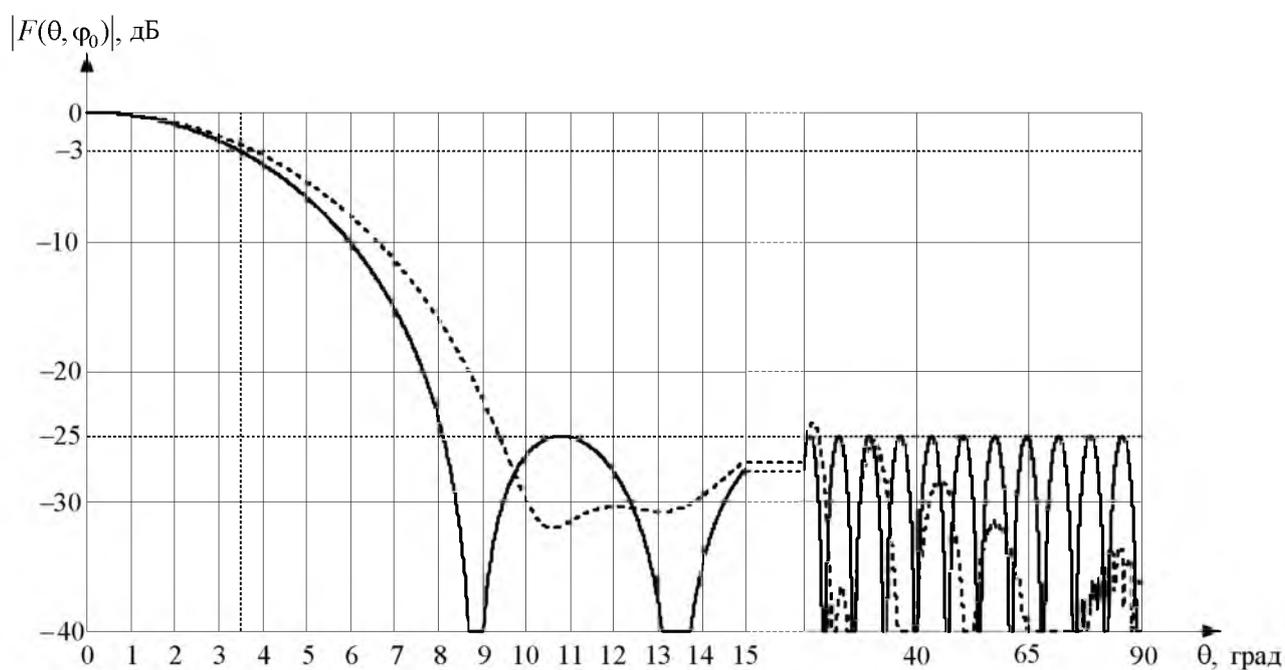
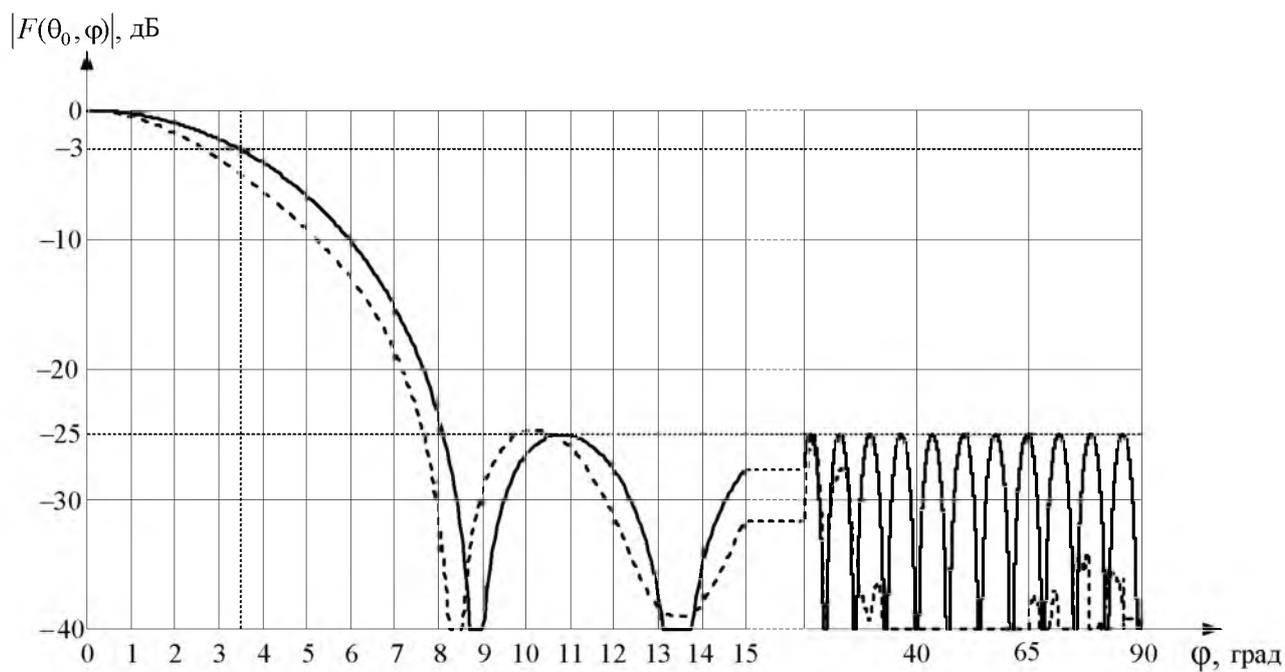
**Математическое моделирование.** Работоспособность предложенной методики синтеза КФАР была проверена путем моделирования сферической, цилиндрической и конической АР. В указанных АР задавалось гексагональное размещение излучающих элементов ( $\Delta l \approx 0,6 \lambda$ ). Для случая сферической антенной решетки ее радиус задавался равным  $R = 9\lambda$ . В свою очередь, цилиндрическая и коническая АР имеют следующие конструктивные параметры: одинаковую высоту  $H = 18\lambda$ , а радиусы –  $R = 9\lambda$  и  $R_1 = 14\lambda$ ,  $R_2 = 5\lambda$  соответственно. Общее количество излучающих элементов антенных решеток составило: для сферической  $N = 913$ , цилиндрической  $N = 847$ , конической  $N = 824$ . При этом во всех КФАР задавалась одинаковая активная область (телесный угол), ограниченная  $2\theta_{\text{обл}} = 130^\circ$  и  $2\varphi_{\text{обл}} = 130^\circ$ . В целях снижения вычислительных затрат при относительно невысоких потерях точности в качестве одиночных излучателей использовались модели излучающих элементов с направленными свойствами, близкими к элементу Гюйгенса, с различной ориентацией [6].

Требуемая ДН  $F_{mp}(\theta, \varphi)$  задавалась в соответствии с [8] для следующих параметров:  $F_B = F_{\varphi_B} = F_{\theta_B} = -25$  дБ;  $2\theta_{0,5} = 7^\circ$ ;  $2\varphi_{0,5} = 7^\circ$ .

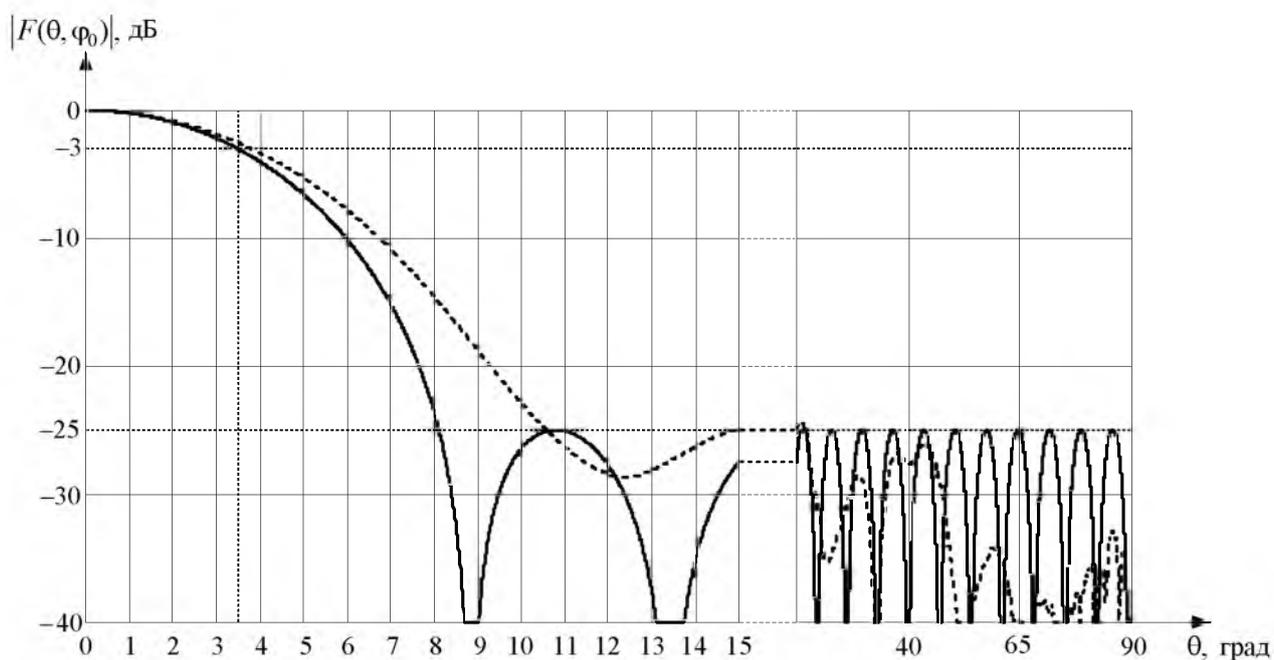
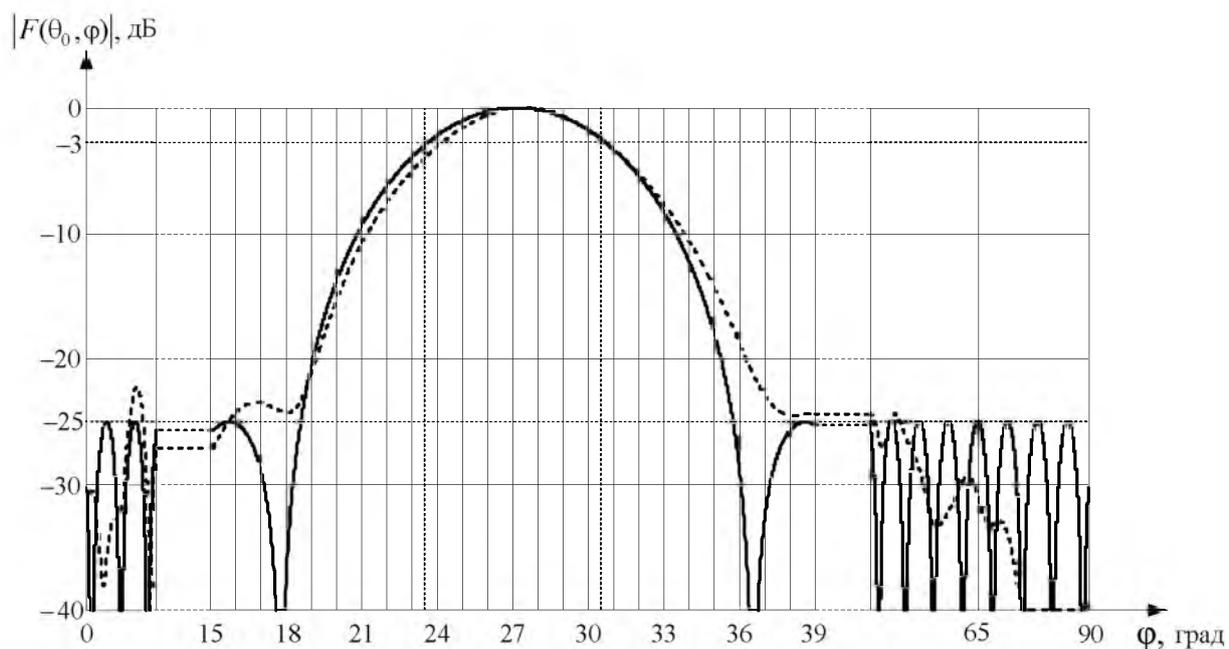
Результаты численного синтеза обозначенных выше КФАР приведены на рисунке 3.



*a*



б



*v*

*a* – сферической; *b* – цилиндрической; *v* – конической

Рисунок 3. – Нормированные диаграммы направленности (сплошная линия – требуемая ДН с заданными параметрами  $F_B = -25$  дБ;  $2\theta_{0,5}(2\varphi_{0,5}) = 7^\circ$ , штриховая линия – результат решения задачи синтеза) конформных антенных решеток для плоскостей поляризации  $\theta$  и  $\varphi$

Из рисунка 3 видно, что требования по уровню боковых лепестков  $F_B = -25$  дБ и ширине главного лепестка ДН в двух плоскостях ( $2\theta_{0,5} = 7^\circ$ ,  $2\phi_{0,5} = 7^\circ$ ), синтезируемых ДН КФАР, практически полностью выполнены. Это подтверждает работоспособность предложенной методики синтеза КФАР с произвольным расположением излучателей. Отклонения требуемых и синтезируемых ДН можно объяснить неравномерностью разбиения поверхности КФАР на гексагональную сетку при  $\Delta l \approx 0,6 \lambda$ , так как ошибки разбиения оказывают наибольшее влияние на форму и параметры ДН [9].

**Заключение.** В статье изложен обобщенный подход к синтезу КФАР, основанный на представлении искомого АФР на раскрыве в виде двумерного ряда Фурье. На примере сферической, цилиндрической и конической АР показаны возможности предложенного подхода по расчету АФР (т. е. решения задачи синтеза) в пределах заданной активной области КФАР с учетом направленных свойств излучающих элементов с произвольным расположением (эквидистантным, неэквидистантным и случайным). Методика синтеза антенной решетки позволяет учитывать требования к заданной диаграмме направленности как по уровню бокового излучения, так и по ширине главного лепестка диаграммы направленности. Предлагаемая методика может быть использована в активных конформных антенных решетках с цифровым способом формирования ДН.

#### Список литературы

1. Воскренский, Д. И. Выпуклые сканирующие антенны (основы теории и методы расчета) / Д. И. Воскренский, Л. И. Пономарев, В. С. Филиппов. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
2. Josefsson, L. Conformal array antenna theory and design / L. Josefsson, P. Persson. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2006. – 488 p.
3. Хансен, Р. С. Фазированные антенные решетки / Р. С. Хансен. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с.
4. Марков, Г. Т. Антенны / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.
5. Романович, А. Г. Результаты численных исследований кольцевых антенных решеток, синтезированных с учетом направленных свойств излучателей / А. Г. Романович, А. А. Калинин, М. О. Бусел // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 4 (41). – С. 101–105.
6. Бусел, М. О. Синтез конформной антенной решетки с произвольным расположением излучателей / М. О. Бусел, А. А. Калинин, А. Г. Романович // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 2 (51). – С. 87–94.
7. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров. / А. Анго. – М.: Наука, 1964. – 772 с.
8. Калинин, А. А. Метод численного синтеза чебышевских кольцевых антенных решеток / А. А. Калинин, А. Г. Романович // Докл. БГУИР. – 2010. - №7 (53). – С. 5–11.
9. Романович, А. Г. Влияние неидентичностей излучающих модулей на характеристики и параметры кольцевых антенных решеток / А. Г. Романович, А. А. Калинин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 4. – С. 66–72.
10. Прудников, А. П. Интегралы и ряды. Элементарные функции / А. П. Прудников, Ю. А. Бычков, О. И. Маричев. – М.: Наука, 1981. – 800 с.

\*Сведения об авторе:

Бусел Михаил Олегович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 10.04.2017 г.

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ИМИТИРУЕМОЙ ЦЕЛИ ДЛЯ БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ПЕРЕДНЕБОКОВОГО ОБЗОРА

О. Г. Лапука, доктор технических наук, профессор;  
Д. А. Рахоцкий; А. А. Ростов\*

*В статье представлено решение задачи имитации заданной целевой обстановки на конечном радиолокационном изображении (РЛИ) бортовой радиолокационной станции (БРЛС) ударных самолетов (УС) при картографировании в режиме переднебокового обзора. На основе сепарабельности матриц принятого двумерного сигнала и конечного РЛИ обоснована возможность создания имитирующих помех, формирующих для БРЛС отдельно управляемое вдоль двух ортогональных осей (по дальности и азимуту) РЛИ. Получены аналитические выражения для частотного сдвига, обеспечивающие изменение положения имитируемой отметки цели по дальности и азимуту на заданное значение.*

*The article presents the problem of simulating a given target environment on the target radar image (RI) radar attack aircraft for mapping mode anterolateral review. On the basis of separability matrices a received two-dimensional signal and the end of RI, and the possibility of creating a simulating interference shaping for radar separately driven along two orthogonal axes (range and azimuth) radar images. The analytical expressions for the frequency shift, providing changing the position of the simulated target blips in range and azimuth to the specified value.*

Опыт локальных войн и вооруженных конфликтов последних десятилетий характеризует рост интенсивности применения авиации для огневого поражения противника, что создает потенциальную угрозу наземным объектам от авиационных средств поражения (АСП) ударной авиации. Одним из основных способов защиты наземных объектов от такого оружия является их прикрытие посредством радиоэлектронного подавления (РЭП) БРЛС УС с синтезированием апертуры (СА).

Применение станций маскирующих помех типа СПН-30, СПН-4 для прикрытия наземных объектов от БРЛС УС с СА осложнено рядом факторов, основным из которых является высокая помехозащищенность БРЛС УС с СА [1] от активной шумовой помехи. Рациональный путь преодоления данной проблемы – переход к способу активной имитации целей, заключающемуся в формировании имитирующих помех, структура которых соответствует структуре полезных сигналов.

Известные способы формирования имитирующих помех [2–4] характеризуются их «одномерностью», т. е. возможностью создания ложной целевой обстановки только по одной координате, например по дальности. Однако принципиальной особенностью БРЛС с СА является формирование двумерного конечного РЛИ [5, 6], предусматривающее цифровую обработку принимаемых сигналов по двум координатам. В связи с этим значительную актуальность приобретает задача обоснования способа управления параметрами модуляции ретранслируемого сигнала в целях задания требуемого положения имитируемых целей по обеим координатам на конечном РЛИ БРЛС ударных самолетов.

Способы управления параметрами имитирующей помехи определяются параметрами сигнальной и имитируемой целевой обстановки для БРЛС УС.

Сигнал, отраженный от наблюдаемого участка земной поверхности, поступающий по мере движения УС на вход приемника БРЛС за время синтезирования, образует двумерный *сепарабельный сигнал* кадра РЛИ в виде матрицы  $S$ , элементы которой в строках являются дискретными отсчетами отраженного сигнала, а количество строк равно числу когерентно накапливаемых импульсов. Формальная математическая процедура формирования сепарабельного двумерного сигнала представляет собой тензорное произведение (без свертки) [7], которое в векторно-матричном представлении запишется так:

$$S = s' s''^T = \begin{bmatrix} s'_1 \\ s'_2 \\ s'_3 \\ s'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s''_1 & s''_2 & s''_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s'_1 s''_1 & s'_1 s''_2 & s'_1 s''_3 \\ s'_2 s''_1 & s'_2 s''_2 & s'_2 s''_3 \\ s'_3 s''_1 & s'_3 s''_2 & s'_3 s''_3 \\ s'_4 s''_1 & s'_4 s''_2 & s'_4 s''_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $s''$  – вектор принятого импульса отраженного сигнала;  $s'$  – вектор траекторного сигнала. Под траекторным сигналом понимается сигнал, принятый от одиночной точечной цели в процессе движения носителя БРЛС с СА в течение времени синтезирования [8, с.181].

Вид каждой строки данной матрицы определяется законом модуляции зондирующего сигнала (ЗС), а также распределением эффективной площади отражения (ЭПО) по элементам разрешения для картографируемого участка подстилающей поверхности. Форма каждого вектор-столбца данной матрицы инварианта к виду и параметрам модуляции ЗС и определяется сугубо формой траекторного сигнала, зависящего от кинематики перемещения БРЛС УС относительно объекта наблюдения и длины волны  $\lambda$ .

При переднебоковом обзоре (для БРЛС УС) вид принимаемого двумерного сигнала имеет существенное отличие по отношению к «строгю» боковому обзору [5]. Траекторный сигнал при переднебоковом обзоре (ПБО) имеет *несимметричный* закон изменения частоты (рисунок 1). В БРЛС УС используются два режима картографирования с СА: доплеровское обужение луча (ДОЛ) и фокусированный синтез апертуры (ФСА). Наличие двух режимов картографирования с СА в БРЛС обусловлено тактической необходимостью ударных самолетов «быстро» обнаруживать объекты и места скопления техники на дальности, сопоставимой с дальностью средств АСП (режим ДОЛ), распознавать их, прицеливаться и применять вооружение при уничтожении малоразмерных целей (режим ФСА). Время синтезирования для режима ДОЛ составляет десятки доли секунд [1], вследствие чего в фазе сигнала все составляющие, кроме линейной, будут слабо выражены. Режим ФСА, в отличие от режима ДОЛ, характеризуется временем синтезирования порядка единиц секунд [1]. Увеличение на порядок времени синтезирования приводит к существенному росту доли квадратичной составляющей в фазе траекторного сигнала.

Обработка двумерного сигнала кадра РЛИ в приемнике БРЛС УС включает два независимых этапа: внутрипериодную (в «быстром» времени) обработку каждого импульса и межпериодную (в «медленном» времени) обработку пачки импульсов [6, 8, 9], накопленную за время синтезирования. Внутрипериодная обработка обеспечивает «сжатие» РЛИ по дальности путем согласованной фильтрации каждого отраженного импульса ЗС.

Межпериодная обработка предназначена для формирования РЛИ с заданным линейным разрешением по азимуту [10]. Обработка траекторного сигнала в БРЛС с СА в ударных самолетах предусматривает умножение траекторного сигнала на опорную функцию и последующий спектральный анализ [9]. Целью умножения траекторного сигнала на опорную функцию является компенсация среднего значения доплеровской частоты для режима ДОЛ и компенсация среднего значения и линейного изменения доплеровской частоты для режима ФСА [11]. Последующий спектральный анализ [9], реализованный в цифровых сигнальных процессорах на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ), обеспечивает многоканальность межпериодной обработки траекторного сигнала.

Структурная схема устройства цифровой обработки траекторного сигнала в приемнике БРЛС с СА при переднебоковом обзоре представлена на рисунке 2.

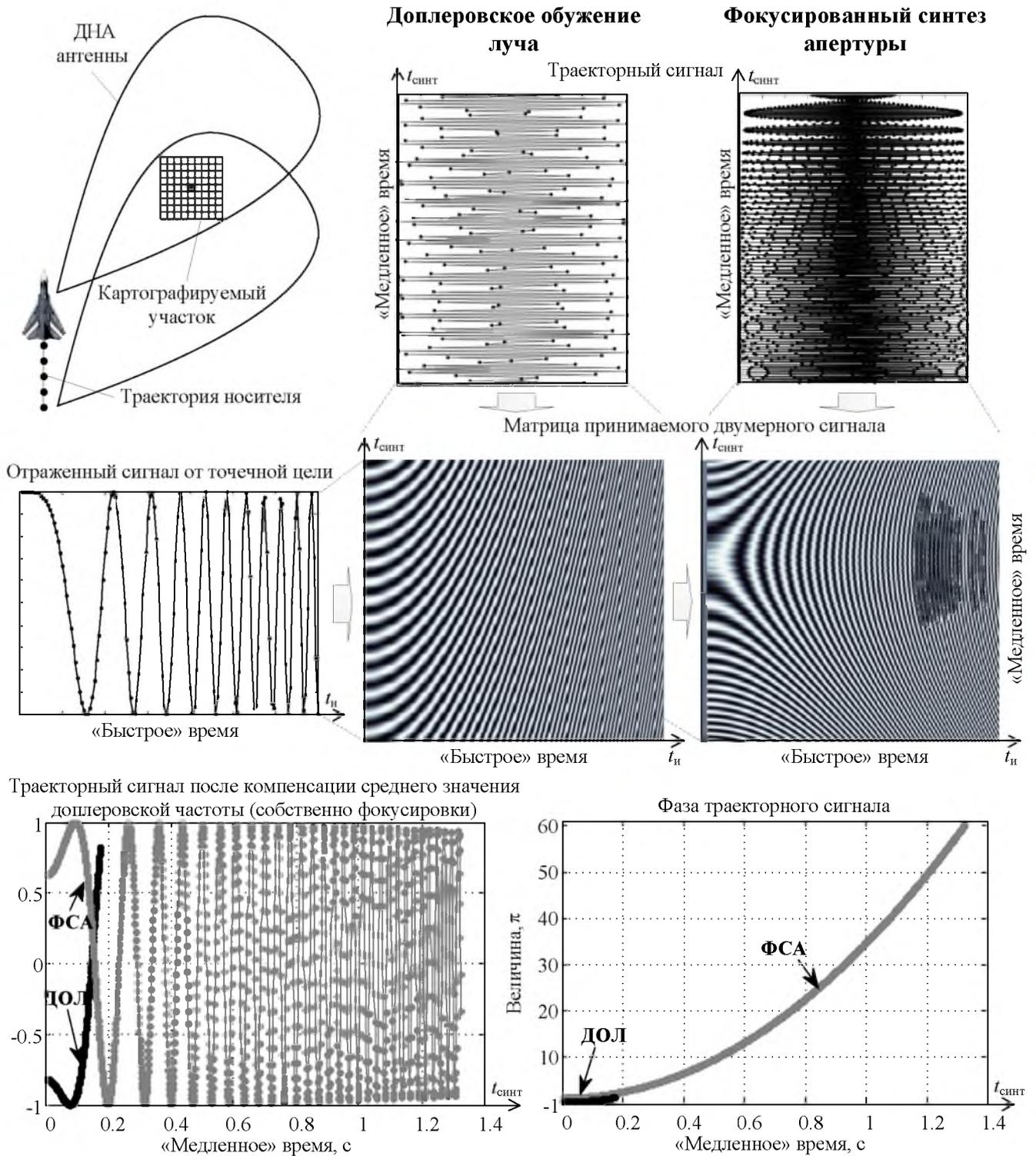


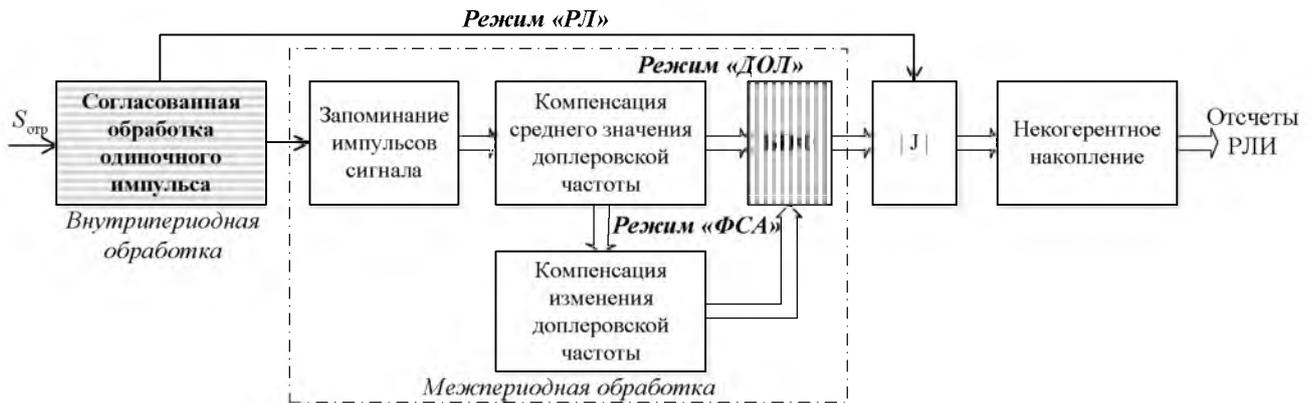
Рисунок 1. – Формирование двумерного сигнала в БРЛС при переднебоковом обзоре

В работе [5] показано, что процедура построчной фильтрации матрицы  $S$  на  $I$  этапе обработки («сжатия по дальности») принятого сигнала БРЛС с СА (по строкам) описывается векторно-матричным выражением

$$Y_1 = (F(Bh^n)BS^T)^T = SB^T F^T (Bh^n), \quad (2)$$

где  $B$  – так называемая матрица удлинения сигнала размерностью  $r_s$  до размерности  $2r_s - 1$ , соответствующей дискретной длительности отклика КИХ-фильтра;  $F(h^n)$  – теплицева

нижнетреугольная *переходная матрица*, сформированная по образующему вектору  $h'$  импульсной характеристики КИХ-фильтра [7].



РЛ – картографирование реальным лучом

Рисунок 2. – Структурная схема устройства цифровой обработки сигналов в приемнике БРЛС с синтезированием апертуры при переднебоковом обзоре

На II этапе цифровой обработки двумерного сигнала («сжатия по азимуту») выполняется обработка матрицы  $S$  по второй координате (по столбцам). В качестве опорной функции  $h'$  используется сигнал, фазовый множитель которого комплексно сопряжен с фазовым множителем траекторного сигнала.

Векторно-матричная запись обработки двумерного сигнала на II этапе цифровой обработки будет иметь следующий вид:

$$Y_{II} = |\dot{\Phi}D(h')Y_I| = |\dot{\Phi}D(h')SB^T F^T (Bh'')|, \quad (3)$$

где  $\dot{\Phi}$  – матрица прямого дискретного преобразования Фурье;  $D(h')$  – диагональная матрица, сформированная по образующему вектору  $h'$  опорной функции гармонического анализа [7].

Раскрыв в формуле (3) исходную матрицу  $S$  как тензорное произведение векторов вида (1), получим

$$Y_{II} = |\dot{\Phi}D(h')s's''^T B^T F^T (Bh'')| = |(\dot{\Phi}D(h')s')(s''^T B^T F^T (Bh''))| = |(\dot{\Phi}D(h')s')(F(Bh'')Bs'')^T| = |y'y''^T|. \quad (4)$$

Из данного выражения следует, что конечная матрица  $Y_{II}$  также представляется в виде тензорного произведения (без свертки) двух векторов:  $y' = \dot{\Phi}D(h')s'$  и  $y'' = F(Bh'')Bs''$ . Каждый из этих векторов – результат согласованной обработки исходных векторов отраженного и траекторного сигнала, формирующих матрицу  $s$ . Это означает, что конечная матрица РЛИ также является *сепарабельной* и, как следствие, обеспечивает возможность создания имитирующих помех, формирующих для БРЛС отдельно управляемое вдоль двух ортогональных осей (по дальности и азимуту) РЛИ.

Для демонстрации корректности полученных аналитических выражений на рисунке 3 представлена иллюстрация двухэтапной процедуры преобразования исходного двумерного сигнала, сформированного при наблюдении *точечного* отражателя (см. рисунок 1), в РЛИ при переднебоковом обзоре.

Из рисунка 3 видно, что разрешение в азимутальной плоскости в режиме ФСА существенно выше по сравнению с режимом ДОЛ. Это обусловлено существенным увеличением ширины спектра траекторного сигнала вследствие увеличения времени синтезирования апертуры.

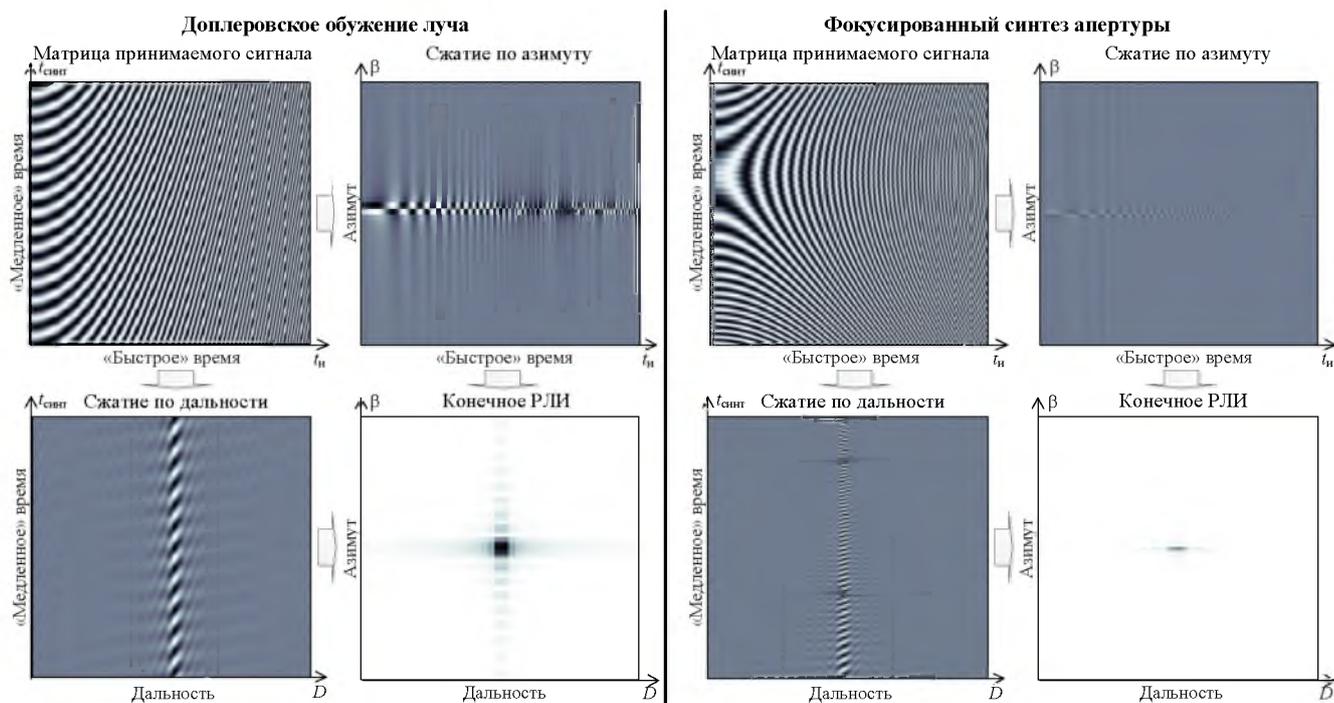


Рисунок 3. – Иллюстрация двухэтапной процедуры согласованной обработки двумерного сигнала, сформированного при переднебоковом обзоре

Для формирования ложных отметок на РЛИ БРЛС УС вдоль осей дальности и азимута необходимо управлять параметрами имитирующих помех, приводящих к смещению отклика СФ и «ребенки» доплеровских фильтров соответственно.

Как указано в [2–4], имитирующие помехи создаются либо путем переизлучения сигнала РЛС с задержкой по времени, либо путем дополнительной угловой (частотной, фазовой) и амплитудной модуляции ретранслируемого сигнала.

Наличие в современных БРЛС богатого «арсенала» способов помехозащиты, прежде всего быстрой смены параметров ЗС, указывает на необходимость использования способа создания таких помех путем переизлучения ЗС без использования сколь-либо существенной его временной задержки в канале ретрансляции. Это приводит к необходимости формирования имитирующей помехи с использованием только угловой (частотно-фазовой) и амплитудной модуляции ретранслируемого сигнала.

Необходимо отметить, что использование амплитудной модуляции ретранслируемого сигнала в рассматриваемом случае является нецелесообразным. В частности, при данном виде модуляции ограниченная максимальная мощность передатчика аппаратуры прикрытия приводит к существенному уменьшению средней мощности излучаемой помехи. При этом энергетические потери пропорциональны глубине модуляции, их величина определяется видом модулирующего сигнала и может достигать 3...10 дБ. Вместе с тем частотная и фазовая модуляция являются энергетически беспригрышными, так как амплитуда ретрансляционной помехи на выходе передатчика аппаратуры прикрытия, а значит, и мощность постоянные, что позволяет обеспечить ее соответствие верхней рабочей точке амплитудной характеристики выходного усилителя тракта ретрансляции.

Перейдем к обоснованию принципов управления параметрами угловой (частотно-фазовой) модуляции ретранслируемого сигнала в целях задания требуемого положения имитируемой цели по дальности и азимуту.

*Управление параметрами угловой модуляции для изменения положения имитируемой цели по дальности.* Наличие условий для эффективной имитации отметки цели по дальности обеспечивается использованием в БРЛС с СА длинноимпульсных широкополосных ЗС [12]. При этом появляется возможность формирования ложных отметок в диапазоне дальностей  $\pm \sigma_{\tau_i}/2$  относительно расположения помехопостановщика, где  $\tau_i$  – длительность ЗС.

Для типовой сигнальной обстановки БРЛС УС, рассмотренной в [9, 12], этот диапазон составляет  $\pm 9$  км.

Для БРЛС с СА предпочтительно использование ЗС с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Во-первых, для сигналов с ЛЧМ характерно регулярное уменьшение уровня боковых лепестков с увеличением их порядкового номера. ЛЧМ – сигнал хорошо поддается аподизации (весовой обработке), приводящей к существенному дополнительному снижению уровня боковых лепестков. Во-вторых, применение ЛЧМ сигнала в РЛС, находящейся в движении (при СА) или обнаруживающей движущуюся цель, позволяет обойтись одноканальной схемой обработки сигнала [13], которая приводит к небольшим энергетическим потерям при наличии доплеровского сдвига частоты.

Ввиду наклонного характера функции неопределенности ЗС с ЛЧМ его *частотный сдвиг* на величину  $\Delta f$  равносильен сдвигу по времени функции отклика СФ приемника подавляемого РЭС на величину

$$\tau_{\Delta f}^{\text{ЛЧМ}} = \frac{\Delta f}{k_{\text{ЛЧМ}}} = \frac{\Delta f}{\Delta f_{\text{ЗС}}} \tau_{\text{и}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{ЛЧМ}}$  – крутизна ЛЧМ;  $\Delta f_{\text{ЗС}}$  – ширина спектра ЗС.

Из представленного выражения может быть определена величина требуемого частотного сдвига, обеспечивающего изменение положения имитируемой отметки цели по дальности на заданное значение:

$$\Delta f_D^{\text{ЛЧМ}} = \frac{2Dk_{\text{ЛЧМ}}}{c} = \frac{2D}{c\tau_{\text{и}}} \Delta f_{\text{ЗС}}. \quad (6)$$

Отметим, что *рациональный* (с энергетической точки зрения) максимально допустимый частотный сдвиг ретранслируемого сигнала, соответствующий потерям мощности в 3 дБ имитирующей помехи, равен  $\Delta f_D^{\text{ЛЧМ}} = \Delta f_{\text{ЗС}}/2$ , что для типовой сигнальной обстановки, рассмотренной в [9, 12], соответствует сдвигу ложной отметки по дальности на 4,5 км.

При смене режима картографирования (ДОЛ  $\leftrightarrow$  ФСА) происходит изменение величины разрешающей способности картографирования в азимутальной плоскости, обусловленное радикальным уменьшением времени синтезирования [1]. С учетом рационального условия приблизительного равенства разрешающей способности формируемого РЛИ по двум координатам [1] происходит изменение крутизны закона модуляции ЗС, обуславливающей величину смещения ложных отметок по дальности. Поэтому изменение положения имитируемой отметки цели по дальности на строго определенную величину предполагает знание (измерение) параметров ЗС с ЛЧМ.

*Управление параметрами угловой модуляции для изменения положения имитируемой цели по азимуту.* В связи с тем, что в основу формирования отметки цели на РЛИ по азимуту при ПБО положен принцип частотной фильтрации (спектральный анализ) сигналов, создание помех азимутальному каналу БРЛС УС с СА аналогично помехам каналу измерения скорости, способ которых основан на частотном сдвиге [2–4].

Для определения величины частотного сдвига при ПБО земной поверхности рассмотрим кинематику взаимного перемещения фазового центра БРЛС УС и точечного объекта наблюдения в горизонтальной плоскости (рисунок 4). Из геометрических соображений следует, что за время синтезирования  $T_{\text{синт}}$  при ПБО носитель пролетает расстояние  $L_{\text{синт}} = V_{\text{н}} T_{\text{синт}}$ , проекция которого на фазовый фронт волны ( $X_{\beta} X_{\beta_0}$ ) составляет величину

$$D_{\text{синт}} = V_{\text{н}} \sin \beta_0 T_{\text{синт}}. \quad (7)$$



1. Для изменения положения одиночной имитируемой цели по дальности необходимо осуществлять частотный сдвиг каждого одиночного принятого импульса зондирующего сигнала на величину, рассчитанную согласно выражению (6).

2. Для изменения положения одиночной имитируемой цели по азимуту необходимо осуществлять линейное изменение начальной фазы принятого импульса зондирующего сигнала, соответствующее дополнительному частотному сдвигу траекторного сигнала на величину, рассчитанную в соответствии с выражением (9).

На основе предложенного принципа формирования одиночной имитируемой цели может быть создана и многоцелевая обстановка за счет увеличения количества каналов (по количеству имитируемых целей) формирования ретрансляционной помехи аппаратуры прикрытия. Пример воздействия помехи, сформированной в соответствии с изложенными принципами имитации одиночной и групповой цели, проиллюстрирован на рисунке 5.

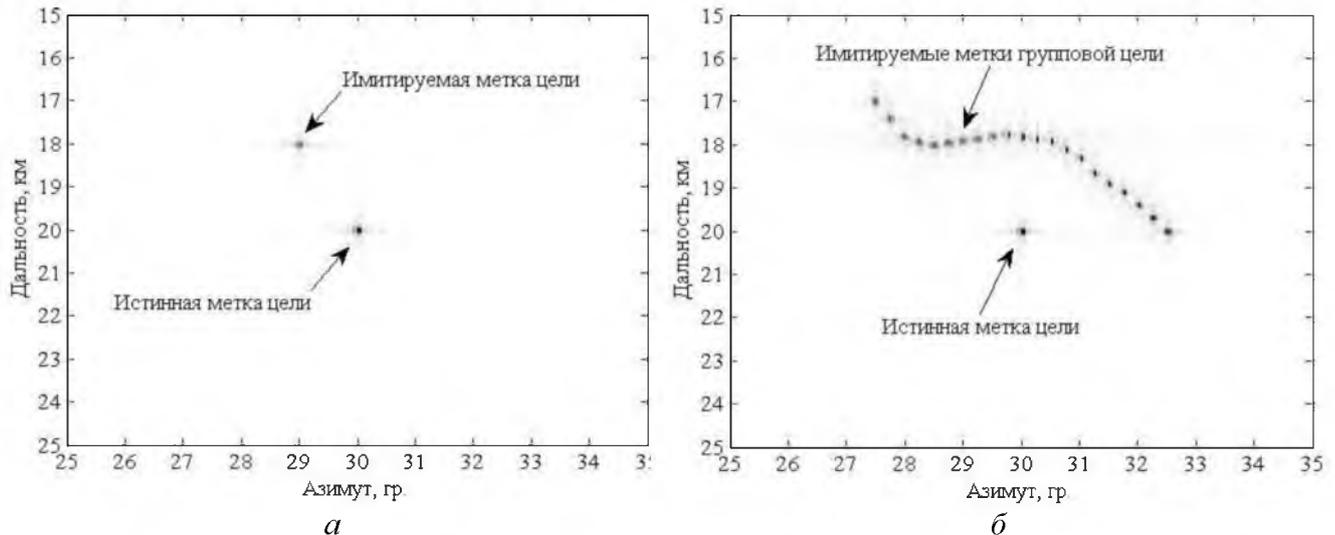


Рисунок 5. – Конечное РЛИ при имитации одиночной (а) и групповой целей (б)

Таким образом, угловая модуляция ретранслируемого сигнала позволит формировать на выходе устройства согласованной обработки БРЛС с СА дополнительные импульсные отклики, количеством и положением (по дальности и азимуту) которых можно управлять, изменяя параметры модуляции. Модуляция ретранслируемого сигнала приводит к рассогласованию ее параметров с параметрами тракта обработки подавляемой БРЛС, что обуславливает необходимость предварительного усиления помехи. Энергетические потери, обуславливающие снижение уровня имитируемой отметки, при совместном управлении определяются потерями, понесенными за счет частотного сдвига для изменения положения одиночной имитируемой цели по дальности.

#### Список литературы

1. Лапука, О. Г. Анализ технических характеристик радиолокационных станций обзора земной поверхности как объектов радиоэлектронного подавления / О. Г. Лапука, А. А. Ростов, Д. А. Рахоцкий // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 2 (51). – С. 102–113.
2. Цветнов, В. В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 248 с.: ил.
3. Вакин, С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С. А. Вакин, Л. Н. Шустов. – М.: Сов. радио, 1968. – 448 с.
4. Перунов, Ю. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю. М. Перунов, К. И. Фомичев, Л. М. Юдин; / под ред. Ю. М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.

5. Лапука, О. Г. Математическая формализация процедуры дискретной конечномерной фильтрации двумерных сепарабельных сигналов / О. Г. Лапука, А. А. Ростов // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (47). – С. 116–122.
6. Кондратенков, Г. С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: учеб. пособие для вузов / Г. С. Кондратенков, А. Ю. Фролов; под ред. Г. С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
7. Лапука, О. Г. Анализ и синтез в классе дискретных конечномерных систем: моногр. / О. Г. Лапука, К. К. Пашенко. – Минск: ВА РБ, 2010. – 372 с.
8. Верба, В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
9. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей: учеб. пособие для вузов / В. Н. Антипов [и др.]; под ред. В. Н. Лепина. – М.: Радиотехника, 2014. – 296 с.
10. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2006. – Т. 1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов. – 656 с.
11. Дудник, П. И. Многофункциональные радиолокационные системы: учеб. пособие для вузов / П. И. Дудник, А. Р. Ильчук, Б. Г. Татарский; под ред. Б. Г. Татарского. – М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
12. Справочник по радиолокации: в 2 кн. / под ред. М. И. Сколника; пер с англ.; под общ. ред. В. С. Вербы. – М.: Техносфера, 2014. – Кн. 1. – 672 с.; Кн. 2. – 680 с.
13. Гатальский, А. М. Обоснование характеристик перспективных помехозащищенных радиовзрывателей артиллерийских боеприпасов как объектов радиоэлектронного подавления / А. М. Гатальский, О. Г. Лапука // Наука и воен. безопасность. – 2016. – № 1 (48). – С. 25–31.

---

\*Сведения об авторах:

Лапука Олег Георгиевич,  
Рахоцкий Дмитрий Александрович,  
Ростов Алексей Анатольевич,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 04.04.2017 г.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОТ ИСТОЧНИКОВ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА, В ЗАДАЧАХ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

А. В. Хижняк, кандидат технических наук, доцент;  
Д. С. Шарак; Е. И. Михненко\*

*В статье рассматривается подход к применению комплексирования изображений различного спектрального диапазона в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов. Представлены методы и алгоритмы комплексирования изображений по данным нескольких источников видеoinформации. Проведен сравнительный анализ работы алгоритмов сопровождения объектов по исходным и комплексированным изображениям различного спектрального диапазона. Приведены результаты экспериментов, подтверждающих эффективность предлагаемого решения.*

*The approach of a various spectral range image fusion in the tasks of optically observable objects tracking is considered in the article. Methods and algorithms of image fusion according to several video information sources are presented. The comparative analysis of object tracking on initial and fusion image algorithms is carried out. Results of the experiments confirming efficiency of the offered decision are resulted.*

### **Введение**

Цифровая обработка изображений является одной из наиболее актуальных и быстро развивающихся областей науки и техники. Это вызвано как многообразием практических задач, требующих анализа визуальной информации, так и все возрастающими возможностями оптики и вычислительной техники. Достаточно назвать такие области применения, как интеллектуальные робототехнические системы, исследование природных ресурсов из космоса, сжатие и передача изображений по узкополосным каналам связи, автономная навигация, оптическая локация, управление движением воздушных и наземных транспортных средств, обнаружение заданных объектов и символов в информационно-поисковых системах, автоматическое обнаружение объектов в охранных системах, системах самонаведения и т. д.

В последние десятилетия активно развивается комплексный подход к обработке данных мониторинга земной поверхности, предполагающий использование различных инструментов дистанционного зондирования: оптических, радиолокационных, акустических, сейсмических и др. [1].

Каждый из датчиков позволяет получить цифровые изображения наблюдаемой сцены в различных диапазонах электромагнитного излучения. Информация о характеристиках объекта содержится в пространственном распределении уровней яркости пикселей по площади изображения [2].

Применение комплексирования изображений по данным источников различного спектрального диапазона позволяет улучшить характеристики результирующего изображения, сократить объем оперируемых данных, а также уменьшить избыточность информации в задачах цифровой обработки.

Цель комплексирования изображений состоит в представлении на результирующем изображении объектов, присутствующих по отдельности на изображениях различных каналов, для более адекватной оценки характеристик исследуемых объектов.

В статье приводятся варианты применения различных алгоритмов комплексирования изображений в военной сфере, в частности в системах обнаружения и сопровождения оптически наблюдаемых объектов.

Анализ боевого применения оптико-электронных систем сопровождения оптически наблюдаемых объектов [3] показал, что, несмотря на огромное преимущество «пассивности», такие системы обладают и рядом недостатков.

В условиях изменяемой фоноцелевой обстановки при плохих погодных условиях оптико-электронные системы требуют дополнительной «подсветки», а значит, пассивность (необнаруживаемость) не сохраняется.

На изображениях, полученных с различных камер, зачастую присутствуют шумы, блики и другие помехи, вызванные окружающим фоном. Это ухудшает качество изображений и, следовательно, снижает информативность, а также может воспрепятствовать дальнейшей программной обработке. Ввиду скоротечности общевойсковой боя время, затрачиваемое на переключение режимов работы оптико-электронных систем, а также неправильный выбор диапазона работы могут привести к невыполнению боевой задачи.

Таким образом, применение комплексирования исходных изображений различного спектрального диапазона позволит повысить качество работы систем сопровождения и сократить время, затрачиваемое на переключение режимов работы, за счет использования объединенного результирующего изображения.

### **Порядок объединения изображений, полученных по данным источников различного спектрального диапазона**

После того, как в многодиапазонной оптико-электронной системе (МОЭС), предназначенной для визуализации наблюдаемой сцены, проведено разделение широкого участка спектра на отдельные рабочие диапазоны, а затем в электронном тракте системы осуществлена определенная обработка полученных сигналов, например их фильтрация, появляется необходимость в объединении (комплексировании) изображений, соответствующих отдельным диапазонам, в одно, отображаемое на экране монитора. Такое объединение может проводиться для видимого и/или ближнего инфракрасного (ИК) диапазона и средне- и/или длинноволнового ИК-диапазона.

При объединении изображений, полученных в различных спектральных каналах МОЭС, необходимо выполнить следующие требования [2]:

- образованное после объединения изображение должно сохранять всю полезную информацию, содержащуюся в исходных изображениях;
- объединение изображений должно происходить в реальном масштабе времени;
- в процессе объединения не должны возникать искусственные признаки (побочные изображения), а также исчезать отдельные элементы или участки наблюдаемого пространства (сцены);
- объединенные изображения, применяемые в системах автоматического сопровождения объектов, должны обеспечивать выделение наиболее информативных признаков в плоскости изображения.

Важным условием полученного объединенного изображения является отсутствие шумов и помех, характерных для исходных видеопоследовательностей. Часто необходимо обеспечить автономную работу каждого из каналов системы.

Как видно из схемы объединения изображений  $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_N$ , получаемых в различных спектральных диапазонах  $\Delta \lambda_1, \Delta \lambda_2, \dots, \Delta \lambda_N$  соответственно (рисунок 1), изображения подвергаются предварительной обработке, заключающейся в устранении их пространственных и временных искажений, возникающих в отдельных каналах системы.



Рисунок 1. – Обобщенная схема объединения изображений

Первым этапом предварительной обработки изображений, получаемых от отдельных каналов МОЭС, является удаление шумов и возможных искажений, возникающих, например, из-за неоднородности чувствительности отдельных пикселей (геометрический шум), устранение размытости изображения на высоких пространственных частотах, преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму с квантованием их по уровню и др.

На следующем этапе этой обработки корректируются изображения в каналах МОЭС. Коррекция может состоять в приведении к единому формату, в устранении взаимных сдвигов и поворотов отдельных изображений и т. п.

Только после нее производится объединение электронных изображений в одно и визуализация последнего.

### **Применение алгоритмов комплексирования изображений в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов**

Анализ современных средств коррекции изображений на базе типовых логических схем, создающих цифровые изображения в различных участках спектра, содержится в [2, 4].

В последние десятилетия разрабатываются способы объединения изображений, основанные на выделении отдельных отличительных признаков обнаруживаемого или наблюдаемого объекта, а также на ряде эффектов, свойственных зрительному аппарату человека, например на способности различать гораздо большее число цветовых оттенков, нежели уровней серого в изображении. При этом для совмещения изображений используются различные алгоритмы: анализ главных компонент, пирамидальные схемы, дискретные преобразования волновых пакетов (вейвлетов), метод противоположных цветовых контрастов, алгоритм Ретинье [5, 6] и др.

С практической точки зрения находит применение алгоритм комплексирования изображений, основанный на критериальном суммировании для каждого пикселя цифровой видеопоследовательности (алгоритм 1). Техническим результатом комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений является повышение качества изображения, содержащего информативные элементы изображений одной и той же сцены, полученные в различных спектральных диапазонах. Алгоритм реализуется следующим образом: на первом этапе используя любой известный способ вычисления мощности высокочастотных компонент изображения, определяют основной канал с наибольшим количеством информативных деталей на изображении, например телевизионный (ТВ).

Для второго канала, например тепловизионного (ТПВ), вычисляют его среднюю яркость  $\bar{A}_{ТПВ}$  по формуле

$$\bar{A}_{ТПВ} = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{w, h} Q_{xy}^{ТПВ}}{wh}, \quad (1)$$

где  $x, y$  – координаты точек с яркостью  $Q_{ТПВ}$  ТПВ изображения;  
 $w, h$  – размеры изображения.

Далее вычисляют среднее значение абсолютных разностей  $\bar{A}_{\Delta}$  между всеми значениями яркости пикселей  $Q_{ТПВ}$  и средней яркостью ТПВ изображения по формуле

$$\bar{A}_{\Delta} = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{w, h} [Q_{xy}^{ТПВ} - \bar{A}_{ТПВ}]^2}{wh}, \quad (2)$$

Окончательное вычисление яркости пикселей комплексированного изображения  $F_{xy}$  осуществляют по формуле:

$$F_{xy} = Q_{xy}^{ТВ} + [Q_{xy}^{ТПВ} - \bar{A}_{ТПВ}] - \bar{A}_{\Delta}, \quad (3)$$

где  $F_{xy}$  – комплексированное изображение;

$x, y$  – координаты точек с яркостью  $Q$  ТВ и ТПВ изображений.

Также известен способ комплексирования изображений, полученных от датчиков, работающих в различных частотных диапазонах, на основе попеременной записи строк ТВ и ИК изображений (алгоритм 2). Первоначально общий световой поток разделяется на два: из первого формируется изображение видимого диапазона, из второго – инфракрасного. Затем пиксели обоих изображений попеременно записываются в память общего изображения. Порядок записи сводится к чередованию строк изображений: нечетным строкам соответствуют пиксели инфракрасного изображения, а четным – телевизионного. Далее организуется взаимный обмен частей яркости противоположных по вертикали соседних пикселей. Для этого яркость каждого из них делится на три части. Одна часть яркости пикселя остается на своем месте, две другие равные части раздельно суммируются с яркостью соседних по вертикали пикселей.

Пусть в смешанном изображении какие-то  $n$ -е пиксели (соседние по вертикали) получившихся соседних строк имеют для ИК-изображений значение яркости  $Q_i^t$ , для ТВ-изображений –  $Q_k^t$ . При реализации данного способа комплексирования организуется междустрочный обмен яркостей частей противоположных по вертикали пикселей по следующему алгоритму: яркость каждого пикселя делится на три части, после чего две части  $i$ -го пикселя  $k$ -й строки суммируются с оставшимися долями  $i$ -х пикселей  $(k-1)$ -й и  $(k+1)$ -й строк.

Значение яркости каждого пикселя делится в пропорции:

$$Q_i^t = \frac{Q_i^t}{2} + \frac{Q_i^t}{4} + \frac{Q_i^t}{4}; \quad Q_k^t = \frac{Q_k^t}{2} + \frac{Q_k^t}{4} + \frac{Q_k^t}{4}. \quad (4)$$

Аналитический результат межстрочного обмена имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Q_i^{t+1} &= \frac{Q_i^t}{2} + \frac{Q_k^t}{4} + \frac{Q_{k-1}^t}{4} \\ Q_k^{t+1} &= \frac{Q_k^t}{2} + \frac{Q_i^t}{4} + \frac{Q_{i+1}^t}{4} \\ Q_{i-1}^{t+1} &= \frac{Q_{i-1}^t}{2} + \frac{Q_{k-1}^t}{4} + \frac{Q_{k-2}^t}{4} \\ Q_{k-1}^{t+1} &= \frac{Q_{k-1}^t}{2} + \frac{Q_i^t}{4} + \frac{Q_{i-1}^t}{4} \\ Q_{i+1}^{t+1} &= \frac{Q_{i+1}^t}{2} + \frac{Q_k^t}{4} + \frac{Q_{k+1}^t}{4} \\ Q_{k+1}^{t+1} &= \frac{Q_{k+1}^t}{2} + \frac{Q_{i+1}^t}{4} + \frac{Q_{i+2}^t}{4} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $Q_*^{t+1}$  – состояние значения яркости  $n$ -го пикселя строки после проведения процедуры обмена.

Также известен алгоритм комплексирования, основанный на объединении 50 % значений яркостей пикселей исходных изображений ИК и ТВ диапазона. Сущность данного алгоритма заключается в том, что значение яркости пикселя комплексированного изображения состоит из половины суммы значений яркостей соответствующих пикселей исходных изображений.

При использовании данного алгоритма значение яркости пикселя комплексированного изображения будет рассчитываться по формуле

$$K_{ij} = \frac{1}{2}TB_{ij} + \frac{1}{2}ИК_{ij}, \quad (6)$$

где  $K_{ij}$  – яркость пикселя комплексированного изображения;

$TB_{ij}$  – яркость пикселя изображения ТВ диапазона;

$ИК_{ij}$  – яркость пикселя изображения ИК диапазона;

$i, j$  – текущее положение пикселя на изображении.

## **Сравнительный анализ существующих алгоритмов комплексирования изображений в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов**

Для сравнения качества работы алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов по исходным и комплексированным изображениям на кафедре автоматизированных систем управления войсками учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» совместно с Конструкторским бюро «Дисплей» была проведена научно-исследовательская работа (НИР) «Разработка алгоритмов и программного обеспечения цифровой обработки изображений и автоматического сопровождения оптически наблюдаемых объектов» [3]. В рамках данной НИР было разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее осуществлять оценку эффективности работы алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов.

Данное программное обеспечение включает в себя:

- модель типового корреляционного алгоритма сопровождения оптически наблюдаемых объектов [7];

- имитационные модели алгоритмов комплексирования цифровых видеопоследовательностей различного спектрального диапазона (алгоритмы 1–3):

- на основе критериального суммирования для каждого пикселя цифровой видеопоследовательности (алгоритм 1);

- на основе попеременной записи строк ТВ и ИК изображений (алгоритм 2);

- на основе объединения 50 % яркости пикселей каждого изображения (алгоритм 3).

Для сравнения качества работы на вход алгоритма сопровождения оптически наблюдаемых объектов подавались синтезированные (видеопоследовательности 1 и 2 таблицы 1 и 2) и экспериментальные (видеопоследовательности 3 и 4 таблицы 3 и 4) видеопоследовательности ТВ и ИК диапазонов. Синтезированные видеопоследовательности представлены набором изображений формата .jpg, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет. База данных представляет собой общедоступный эталонный набор данных для тестирования и оценки новых и современных компьютерных алгоритмов компьютерного зрения. Экспериментальные видеопоследовательности были получены в ходе проведения НИР «Корреляция» [3], и представляют собой видеофайлы ИК и ТВ диапазона формата .avi. Показателем качества работы алгоритма было определено количество срывов сопровождения на 1000 кадров видеопоследовательности. Под срывом сопровождения понималось превышение расстояния между эталонными и измеренными координатами центра объекта интереса на величину, равную диагонали прямоугольника, ограничивающего эталонное изображение объекта, которая принималась за максимальную ошибку измерения [8].

Характеристики видеопоследовательностей и результаты эксперимента представлены в таблицах 1–4, где:

- ИК – работа корреляционного алгоритма по исходной ИК видеопоследовательности;

- ТВ – работа корреляционного алгоритма по исходной ТВ видеопоследовательности;

- алгоритм 1 – работа корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму 1;

- алгоритм 2 – работа корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму 2;

- алгоритм 3 – работа типового корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму 3.

Таблица 1. – Параметры видеопоследовательности 1

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	42	25	5	4,76
ТВ	-//-	-//-	6	5,71
<b>Алгоритм 1</b>	-//-	-//-	<b>3</b>	<b>2,86</b>
Алгоритм 2	-//-	-//-	5	4,76
Алгоритм 3	-//-	-//-	4	3,81

Таблица 2. – Параметры видеопоследовательности 2

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	66	25	3	1,81
ТВ	-//-	-//-	5	3,03
Алгоритм 1	-//-	-//-	3	1,81
<b>Алгоритм 2</b>	-//-	-//-	<b>2</b>	<b>1,21</b>
Алгоритм 3	-//-	-//-	6	3,63

Таблица 3. – Параметры видеопоследовательности 3

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
<b>ИК</b>	635	25	<b>59</b>	<b>3,71</b>
ТВ	-//-	-//-	123	7,75
Алгоритм 1	-//-	-//-	73	4,59
Алгоритм 2	-//-	-//-	117	7,37
Алгоритм 3	-//-	-//-	138	8,69

Таблица 4. – Параметры видеопоследовательности 4

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	264	25	34	5,15
ТВ	-//-	-//-	48	7,27
Алгоритм 1	-//-	-//-	29	4,39
<b>Алгоритм 2</b>	-//-	-//-	<b>26</b>	<b>3,93</b>
Алгоритм 3	-//-	-//-	48	7,27

### Выводы

В статье рассмотрена возможность применения комплексирования исходных изображений различного спектрального диапазона в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов. Проведен сравнительный анализ работы корреляционного

алгоритма сопровождения объектов по исходным и комплексированным видеопоследовательностям.

Анализ таблиц 1–4 показывает существенное улучшение работы корреляционного алгоритма по комплексированным видеопоследовательностям по сравнению с работой по исходным изображениям ИК и ТВ диапазона (от 23,7 до 39,9 %). Однако существуют ситуации, когда комплексирование изображений не оказывает влияние на эффективность сопровождения оптически наблюдаемых объектов (экспериментальная видеопоследовательность 1), для которой наибольшую эффективность показал корреляционный алгоритм сопровождения при работе по ИК-видеопоследовательности. Для конкретной ситуации решающую роль предположительно оказал тот факт, что при сопровождении одиночного объекта на фоне асфальтированной поверхности и наличии засветки в яркую солнечную погоду отражение солнечных лучей вызывало срыв сопровождения в ТВ-диапазоне, чего не наблюдалось в ИК-диапазоне. Применение комплексирования изображений не способствовало улучшению качества сопровождения объектов. Поэтому дальнейшие исследования в данной области будут направлены на разработку рекомендаций по применению вариантов комплексирования изображений в задачах сопровождения оптически наблюдаемых объектов в условиях изменяемой фоноцелевой обстановки.

#### Список литературы

1. Методика оценки эффективности объединения информации о воздушных объектах по данным нескольких источников / А. А. Белоус [и др.] // Докл. БГУИР. – 2015. – № 7 (93). – С. 31–38.
2. Захарова, Л. Н. Совместный анализ данных оптических и радиолокационных сенсоров: возможности, ограничения и перспективы // Захарова Л. Н., Захарова А. И. / Радиотехника и электроника. – 2011. – Т. 56. – № 1. – С. 5–19.
3. Разработка алгоритмов и программного обеспечения цифровой обработки изображений и автоматического сопровождения оптически наблюдаемых объектов (шифр «Корреляция»): отчет о НИР (закл.) / ОАО «Дисплей»; рук. темы А. В. Хижняк. – Минск, 2016. – 145 с.
4. Разработка алгоритмов цифровой обработки изображений на вычислительных средствах программируемой логики (шифр «Обработка»): отчет о НИР (закл.) / ИП «ЦиклонБел»; рук. темы А. В. Хижняк. – Минск, 2016. – 182 с. – № ГР 20160881.
5. Sharma, R. K. Multi-stream video fusion local principal components analysis / R. K. Sharma, M. Pavel, T. K. Been // SPIE Proc. – 1998. – Vol. 3436. – P. 717–725.
6. Wang, H. Fusion algorithm for multisensor images based on discrete multiwavelet transform / H. Wang, J. Peng, W. Wu // IEEE Proc. on Vision, Image, and Signal Processing. – 2002. – Vol. 149. – № 5. – P. 283–289.
7. Заплатников, С. С. Корреляционно-фильтровой способ сопровождения оптически наблюдаемых объектов / С. С. Заплатников, А. В. Хижняк, А. В. Шевяков // Электроника-инфо. – 2012. – № 5. – С. 44–47.
8. Алпатов, Б. А. Способ обработки последовательности изображений для обнаружения и слежения за воздушными объектами: пат. RU 2419150: МПК G06K9/54 (2006) / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, Л. Н. Костяшкин; дата публ.: 20.05.2011.

\*Сведения об авторах:

Хижняк Александр Вячеславович,  
Шарак Дмитрий Сергеевич,  
Михненко Евгений Игоревич,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 13.12.2016 г.

# ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

---

УДК 621.396.67: 621.372.62

## КОНСТРУКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ДВУХДИАПАЗОННОЙ ДИРЕКТОРНОЙ АНТЕННЫ МЕТОДОМ S-МАТРИЦЫ

С. Т. Сидоренко, кандидат технических наук;  
В. В. Кудерко; С. С. Врублевский\*

*В статье проведен конструктивный синтез двухдиапазонной директорной антенны с нагрузками пассивных элементов, рассчитанных методом S-матрицы, позволяющими устранить взаимное влияние и снять диапазонные и конструктивные ограничения. Проиллюстрированы графики зависимостей рассчитанных нагрузок элементов двухдиапазонной директорной антенны в рабочем диапазоне частот. Приведены результаты численного и натурного экспериментов.*

*A dual-band director-type antenna with passive elements load has been constructively synthesized. These passive elements were calculated using the S-matrix methods, that allows to remove mutual influence, range and constructive restrictions. Graphs of dependencies of calculated loads of antenna elements in the operating frequency range are illustrated. The results of numerical and field experiments are given below.*

### Введение

Сложность и многофункциональность современных радиоэлектронных систем предъявляет все более жесткие требования к необходимым характеристикам и параметрам антенн. Конструктивный синтез антенн с заданными свойствами, выполняемый традиционными методами, становится все более сложным, а в ряде случаев невозможным.

Взаимное влияние конструктивных элементов определяет ряд ограничений по минимальному частотному разнесу диапазонов и по их взаимному расположению в многодиапазонных антеннах.

При проектировании антенных решеток часто применяются пассивные элементы [1, 2]. При этом необходима формулировка критериев оптимальности конструкции и численная оптимизация [3, 4].

Для сужения пространства поиска при решении ряда задач конструктивного синтеза антенных решеток предложено использовать фиксированные нагрузки, реализующие экстремальные режимы рассеяния пассивных элементов антенн, в качестве которых в большинстве случаев используются канонические антенны. Экстремальными являются режимы наименьшей видимости и максимального рассеяния. В данной статье будем использовать режим наименьшей видимости.

Целью статьи является подтверждение того, что применение метода S-матрицы для решения задач конструктивного синтеза антенн позволяет снять ряд ограничений по минимальному частотному разнесу диапазонов и по их взаимному расположению в многодиапазонных антеннах.

## 1. Конструктивный синтез многодиапазонных антенных решеток

Один из вариантов проектирования многодиапазонных антенн является объединение двух антенн разных диапазонов в одну конструкцию, что является возможным для директорных антенн.

Рассмотрим вариант построения двухдиапазонной директорной антенны (рисунок 1). Для данной конструкции характерен пространственный и частотный разнос [5] либо возможен вариант построения антенны со значительным частотным разнесом диапазонов и сравнительно небольшим пространственным разнесом.

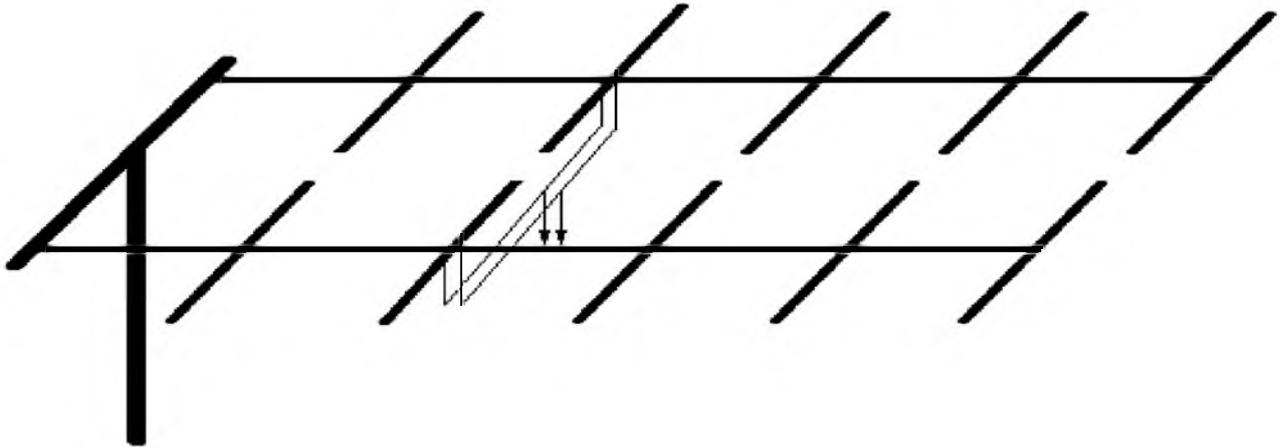


Рисунок 1. – Конструкция двухдиапазонной многовибраторной антенны

Для решения задачи по устранению ограничений частотного и пространственного разнеса применением нагрузок, реализующих режим наименьшей видимости для пассивных элементов одной антенны в частотном диапазоне второй антенны, необходимо провести синтез двухдиапазонной директорной антенны.

## 2. Синтез двухдиапазонной директорной антенны

В качестве примера рассмотрим построение двухдиапазонной директорной антенны, образованной объединением в одну конструкцию двух антенн. (Собственно синтез каждой из антенн в отдельности не является целью данной работы, поэтому в статье не рассматривается.) Антенна 1 (рисунок 2) работает в диапазоне 394–422 МГц, антенна 2 (рисунок 3) работает в диапазоне 422–450 МГц.

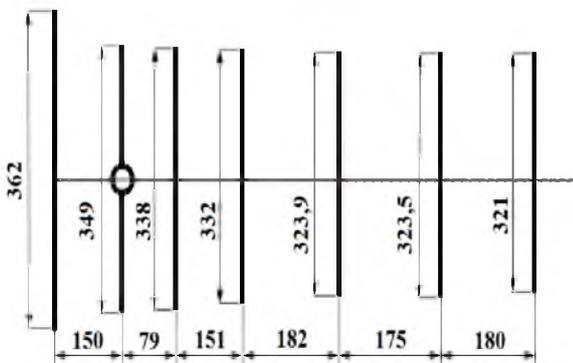


Рисунок 2. – Директорная антенна первого диапазона. Рефлектор и директоры выполнены из проводника радиусом  $R = 0,862$  мм

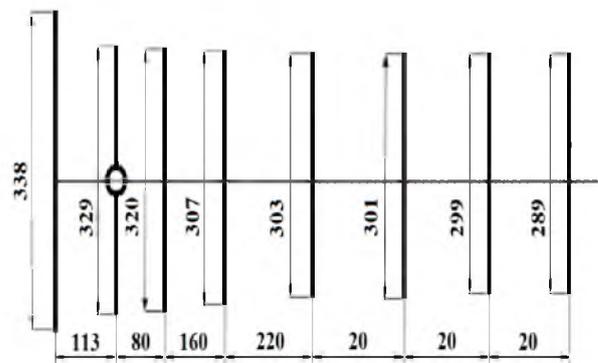


Рисунок 3. – Директорная антенна второго диапазона. Рефлектор и директоры выполнены из проводника радиусом  $R = 0,831$  мм

Объединим две рассматриваемые антенны в одну (рисунок 4).

Выбор диапазона осуществляется коммутацией сигнала на вход первого (АВ1) или второго активного вибратора (АВ2) (в частотном диапазоне 394–422 МГц работают элементы: – к АВ1 подводится питающий фидер, элементы Д1\_1, Д1\_2, Д1\_3, Д1\_4, Д1\_5 работают как директоры, элемент Р1 – как рефлектор), (в частотном диапазоне 422–450 МГц работают элементы: к – АВ2 подводится питающий фидер, элементы Д2\_1, Д2\_2, Д2\_3, Д2\_4, Д2\_5, Д2\_6 работают как директоры, элемент Р2 – как рефлектор).

Как уже отмечалось, при таком построении антенн возникает ряд конструктивных и диапазонных ограничений.

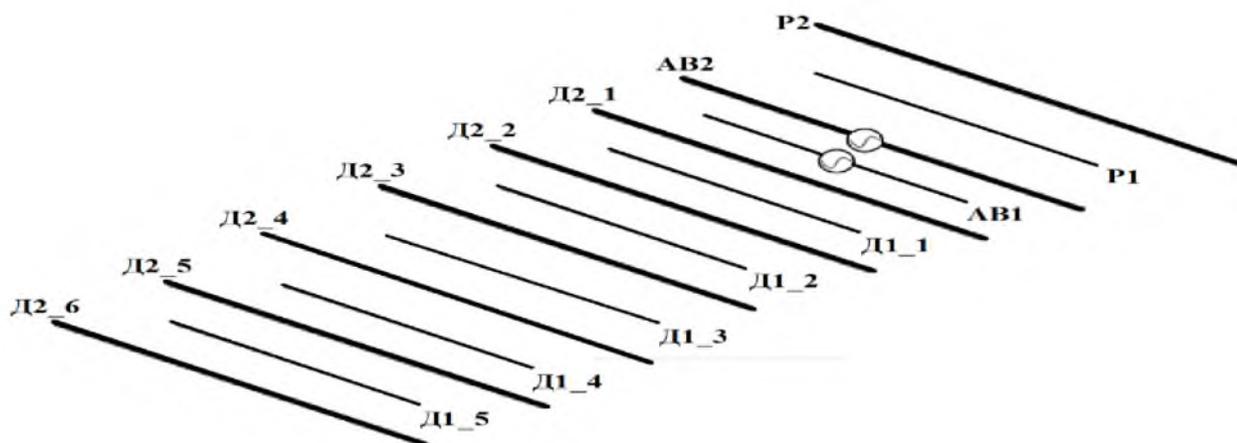


Рисунок 4. – Двухдиапазонная директорная антенна

Конструктивные ограничения обусловлены достаточным пространственным разнесом элементов одной антенны относительно другой в целях исключения гальванического контакта.

Диапазонные ограничения при объединении двух антенн в одну конструкцию обусловлены взаимодействием и взаимным влиянием как антенн в целом, так и их отдельных конструктивных элементов, что приводит к изменению характеристик и параметров системы до неприемлемого уровня. Механизм электродинамического взаимодействия антенн подробно рассматривался в [6]. Установлено, что элементы одной антенны в рабочем диапазоне другой антенны должны иметь минимально возможную эффективную площадь рассеяния  $\sigma_{\theta\theta}$  для того, чтобы свести к минимуму взаимодействие антенн и тем самым уменьшить изменение характеристик и параметров конструкции.

В применявшихся ранее конструкциях (например, рассматриваемая антенна (см. рисунок 1)) частотная развязка составных частей антенны достигается выбором размеров короткозамкнутых элементов одной антенны таким образом, чтобы точка последовательного резонанса элементов была достаточно разнесена от рабочего диапазона второй антенны, что поясняется зависимостью  $\sigma_{\theta\theta}/\lambda^2$  для короткозамкнутого вибратора [7]. Исходя из данного требования частотный разнос диапазонов двух антенн может выбираться произвольно. При сближении частотных диапазонов двух составляющих антенны появляются провалы в частотной зависимости характеристик и параметров антенны в обоих диапазонах (рисунок 5).

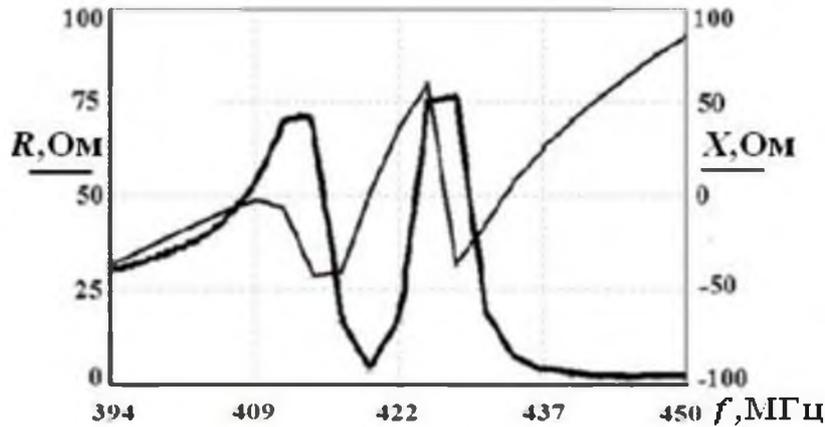


Рисунок 5. – Зависимость входного сопротивления антенны от частоты в рабочем диапазоне при отсутствии нагрузок, реализующих режим наименьшей видимости

### 3. Техническая реализация устранения взаимного влияния элементов одной антенны на параметры другой

Для снятия ограничений по частотному разнесу при проектировании двухдиапазонных директорных антенн предлагается к элементам антенны другого частотного диапазона, не работающим в данный момент, подключать нагрузки, реализующие режим наименьшей видимости, при которых эффективная площадь рассеяния будет минимально возможной. Расчет нагрузок производится методом S-матрицы. В первом поддиапазоне остаются невидимыми элементы антенны второго диапазона, а во втором – элементы антенны первого диапазона. Таким образом, достигается полная частотная развязка элементов антенны одного частотного диапазона относительно элементов второго и наоборот при их произвольном частотном разнесу. При этом должны, естественно, выполняться конструктивные ограничения. Переключение антенны с одного на другой частотный диапазон осуществляется коммутацией нагрузок. Активный вибратор также является двухдиапазонным, что осуществляется коммутацией нагрузки [8]. Конструкция двухдиапазонной антенны с коммутируемыми нагрузками представлена на рисунке 6.

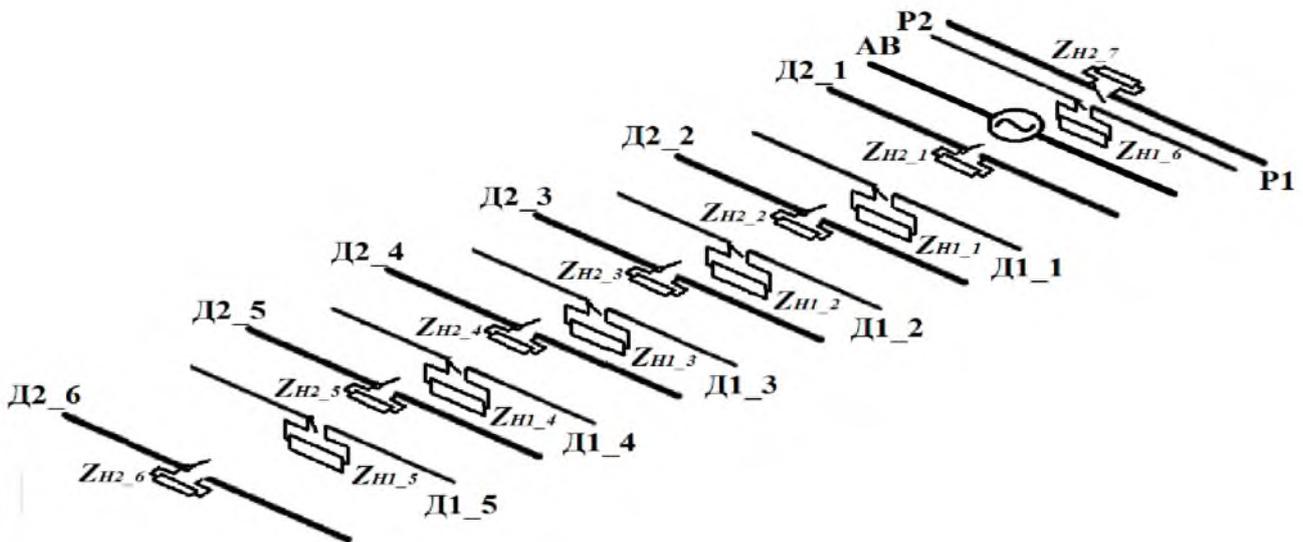


Рисунок 6. – Двухдиапазонная директорная антенна с переключаемыми диапазонами

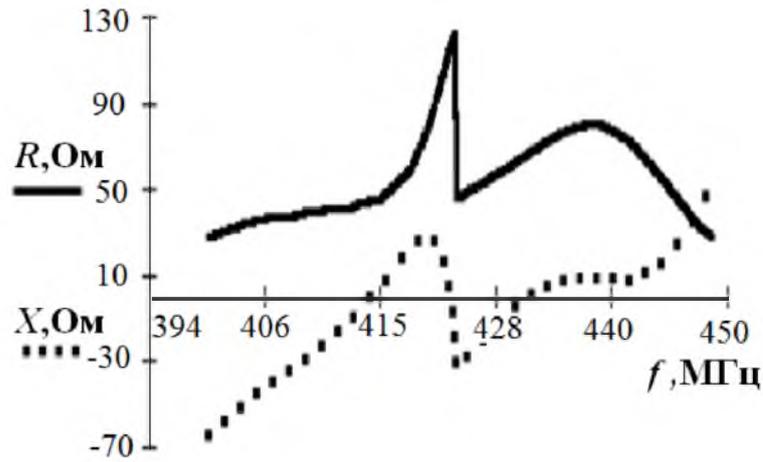
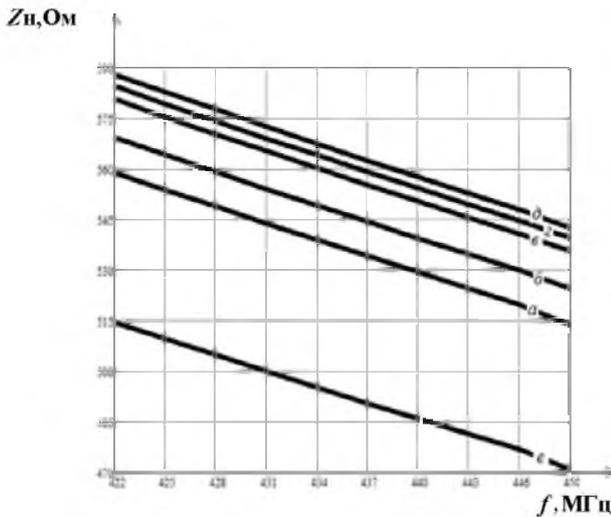


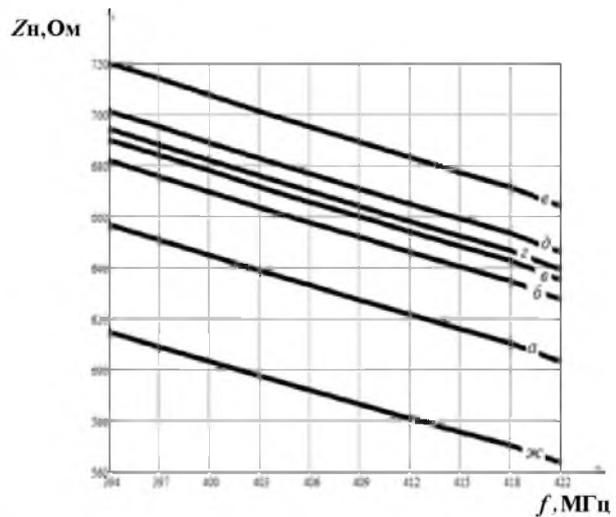
Рисунок 7. – Зависимость входного сопротивления двухдиапазонной антенны в пределах рабочего диапазона с учетом коммутации нагрузок при выборе соответствующего диапазона

Для реализации устранения взаимного влияния произведен расчет требуемых нагрузок. На рисунках 8 и 9 представлены зависимости рассчитанных нагрузок элементов антенн первого и второго диапазонов двухдиапазонной директорной антенны (см. рисунок 6), реализующих режим наименьшей видимости антенн.



*a* – элемент Д1\_1; *б* – элемент Д1\_2;  
*в* – элемент Д1\_3; *г* – элемент Д1\_4;  
*д* – элемент Д1\_5; *е* – элемент Р1

Рисунок 8. – Зависимость нагрузки элементов антенны первого диапазона от частоты:



*a* – элемент Д2\_1; *б* – элемент Д2\_2;  
*в* – элемент Д2\_3; *г* – элемент Д2\_4;  
*д* – элемент Д2\_5; *е* – элемент Д2\_6;  
*ж* – элемент Р2

Рисунок 9. – Зависимость нагрузки элементов антенны второго диапазона от частоты:

Из анализа частотных зависимостей параметров спроектированной антенны для вариантов без и с перекоммутацией нагрузок (см. рисунки 5, 7) следует, что применение нагрузок, реализующих требуемые режимы рассеяния пассивных элементов антенных решеток, рассчитанных с применением метода S-матрицы, позволяет снять диапазонные ограничения на создание многодиапазонных антенных решеток путем объединения нескольких конструкций в одну. Предложенная конструкция является новой по сравнению с ранее известными и обладает новыми полезными свойствами.

#### 4. Численный и натурный эксперименты

Для подтверждения правильности принятой концепции и результатов численного эксперимента проведены численный и натурный эксперименты, в ходе которых ставилась задача доказать принципиальную возможность устранения взаимного влияния элементов антенны одного диапазона на работу антенны другого диапазона. С этой точки зрения абсолютно неважен выбор диапазонов исследуемых антенн. Важно только то, чтобы диапазоны были смежными (по окончании одного диапазона сразу же начинался второй) и взаимное влияние элементов смежных диапазонов ухудшало характеристики антенны, а после включения нагрузок характеристики восстанавливались.

С этой целью были учтены технические возможности лабораторной базы. Исследована трехэлементная директорная антенна (вариант 1). Чертеж антенны представлен на рисунке 10, характеристики – в таблице.

Таблица

Вариант построения антенны	Частота, МГц	Коэффициент усиления, dB	Отношение уровней излучения вперед/назад, dB	Вид поляризации
1	900,0	8,01	13,35	Горизонтальная
2	900,0	4,33	0,53	Горизонтальная
3	900,0	7,79	14,81	Горизонтальная

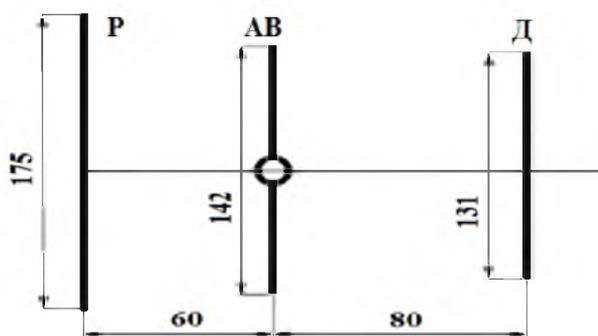


Рисунок 10. – 3-элементная директорная антенна

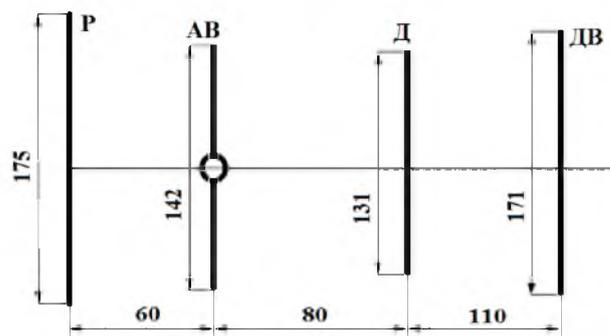


Рисунок 11. – 3-элементная директорная антенна с дополнительным вибратором, работающим в другом диапазоне

Элементы антенны выполнены из латунного проводника диаметром  $d = 5$  мм. Первоначально было проведено численное исследование антенны в программе MMANA.

Затем к данной конструкции антенны был добавлен элемент (вибратор, обозначенный ДВ), работающий в другом диапазоне (рисунок 11; таблица, вариант 2). В ходе выполнения эксперимента оценивались коэффициент усиления антенны и отношение уровней излучения вперед/назад. Коэффициент усиления уменьшился на 3,68 dB. Отношение уровней излучения вперед/назад ухудшилось на 12,82 dB (таблица, вариант 2).

Для восстановления характеристик антенны вибратор, работающий в другом диапазоне (ДВ), переведен в режим наименьшей видимости подключением реактивной нагрузки, рассчитанной методом S-матрицы ( $R_H = j272,55$  Ом) (таблица, вариант 3). Характеристики антенны при этом восстановились до прежнего уровня (таблица, вариант 3). Также реактивная нагрузка была реализована в виде двухпроводного короткозамкнутого шлейфа. Ширина линии  $D = 0,016$  м, длина  $L = 0,06$  м. Данная конструкция антенны представлена на рисунке 12 (таблица, вариант 3). Размеры антенны при этом остались

прежними. При реализации нагрузки в виде двухпроводного шлейфа характеристики антенны восстановились до прежнего уровня.

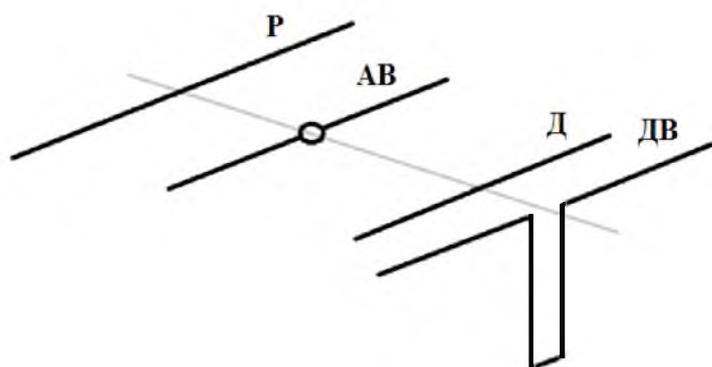
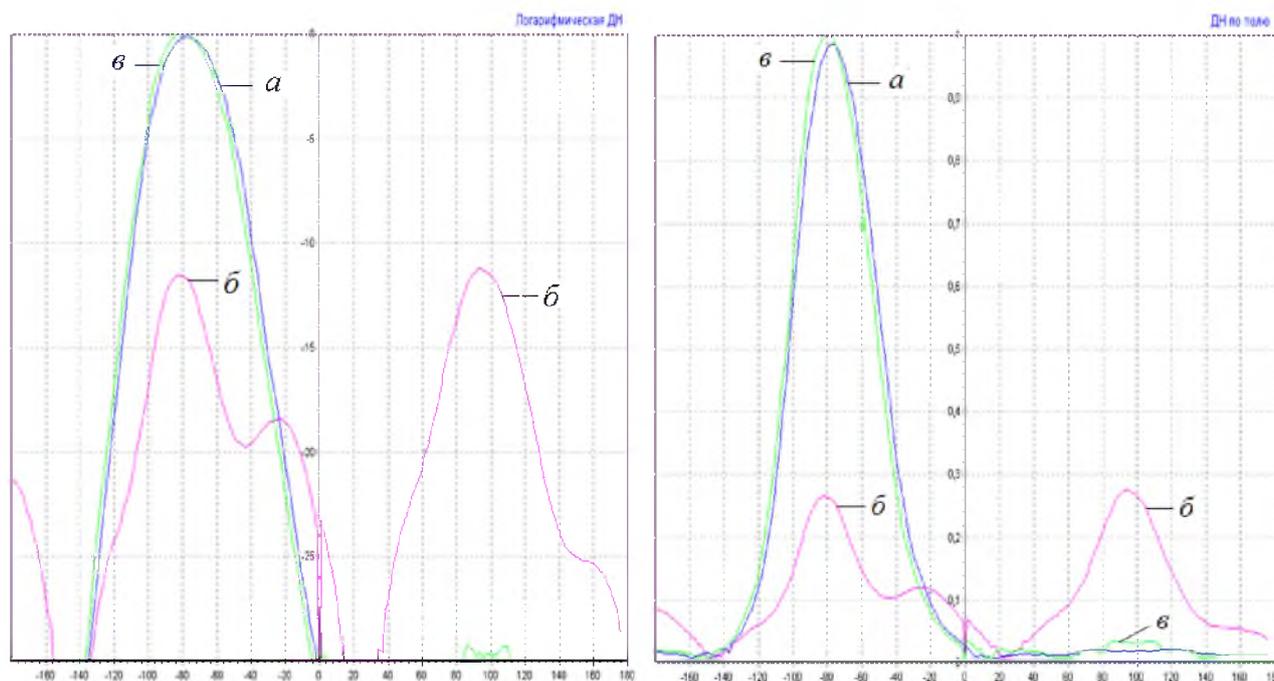


Рисунок 12. – 3-элементная директорная антенна со шлейфом в виде двухпроводной короткозамкнутой линии, реализующим режим наименьшей видимости вибратора

Поскольку форма диаграммы направленности определяет отношение уровней излучения вперед/назад, а ширина главного лепестка диаграммы направленности определяет коэффициент усиления при проведении натурального эксперимента, в ходе которого исследованы описанные выше три варианта построения антенн, ранее смоделированных в ходе численного эксперимента, производился их анализ. Результаты натурального эксперимента представлены на рисунке 13.

Анализ формы и ширины главного лепестка диаграммы направленности для трех вариантов построения антенны показал, что численный эксперимент выполнен корректно.



*а* – 3-элементной директорной антенны; *б* – 3-элементной директорной антенны с вибратором, работающим в другом диапазоне; *в* – 3-элементной директорной антенны со шлейфом в виде двухпроводной короткозамкнутой линии, реализующим режим наименьшей видимости

Рисунок 13. – Диаграммы направленности

Таким образом, в результате численного и натурального экспериментов установлено, что применение нагрузок, рассчитанных методом S-матрицы, позволяет реализовать различные режимы рассеяния пассивных элементов антенных решеток. В результате применения элементов с требуемыми рассеивающими свойствами удалось сузить диапазон поиска

решения задач конструктивного синтеза, снять ряд ограничений и создать антенны с новыми свойствами.

### **Выводы**

Установлено, что при решении задачи создания многодиапазонной антенны путем совмещения в одной конструкции антенн различных диапазонов возникают ограничения на частотный разнос этих антенн. При близком расположении частотных диапазонов антенны взаимодействуют и, как следствие, изменяются до неприемлемых значений их характеристики и параметры. Предложено «выключать» неиспользуемые пассивные элементы антенных решеток переводом их в режим наименьшей видимости.

Проведен конструктивный синтез двухдиапазонной директорной антенны. Показано, что применение метода S-матрицы для расчета нагрузок пассивных элементов позволяет снять ряд ограничений по конструктивному синтезу антенн и получать конструкции с новыми полезными свойствами – улучшенными диапазонными и направленными свойствами.

Выполнены численный и натурный эксперименты, которые подтвердили высокую эффективность предложенной методики.

### **Список литературы**

1. Поповкин, В. И., Маторин, А. В. Синтез антенной решетки щелевых излучателей с пассивными элементами / В. И. Поповкин, А. В. Маторин // Радиотехника и электроника. – 1971. – Т. 16. – № 7. – С. 1133.
2. Линдваль, В. Р. Исследование антенных решеток из сложных излучателей с пассивными элементами / В. Р. Линдваль // Труды КАИ. Радиотехника и электроника. / Казан. авиац. ин-т. – Казань, 1972. – Вып. 150.
3. Андреев, В. А. Исследование антенных решеток с взаимодействующими элементами / В. А. Андреев, В. Р. Линдваль, А. В. Маторин // Тезисы Всесоюз. науч. сессии, посвящ. Дню радио. – М., 1972.
4. Елумеев, В. И. О некоторых аналитических и численных методах в теории синтеза антенн / В. И. Елумеев, А. В. Маторин, В. И. Поповкин // Лекции 4-й Всесоюз. шк.- семинара по дифракции и распространению волн. – Рязань, 1975.
5. Антенные системы радио-электронной техники / Л. Н. Марков [и др.]. – М., 1993. – 368 с.
6. Воропаев, Ю. П., Сидоренко, С. Т. Механизм электродинамического взаимодействия антенн / Ю. П. Воропаев, С. Т. Сидоренко // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2003. – № 3. – С. 59–67.
7. Сидоренко, С. Т. Анализ рассеивающих свойств тонких вибраторных антенн / С. Т. Сидоренко // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – № 1. – 2004. – С. 66–72.
8. Овсянников, В. В. Вибраторные антенны с реактивными нагрузками / В. В. Овсянников. – М.: Радио и связь, 1985. – 120 с.

\*Сведения об авторах:

Сидоренко Сергей Тихонович,  
 Кудерко Виктор Викторович,  
 Врублевский Сергей Сергеевич,  
 УО «Военная академия Республики Беларусь».  
 Статья поступила в редакцию 04.04.2017 г.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА JV ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ НА ЭТАПЕ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

А. С. Солонар, кандидат технических наук, доцент; А. А. Михалковский\*

*В статье рассмотрено решение задачи отождествления принятых отметок с сопровождаемыми траекториями при помощи алгоритма аукциона и JV. Описаны особенности реализации алгоритма JV. Приведены условия сопоставительного моделирования алгоритмов аукциона и JV, представлены их результаты.*

*The decision of a problem of an identification of the accepted marks with already accompanied trajectories by means of algorithm of auction and JV is considered. Are described feature of realisation of algorithms. Conditions of comparative modelling between algorithm of auction and JV are resulted, their results are presented.*

### Введение

Одной из главных задач вторичной обработки радиолокационной информации является отождествление принятых отметок на текущем обзоре с сопровождаемыми траекториями. При решении этой задачи требуется распределить обнаруженные отметки по сопровождаемым траекториям, решается она относительно просто, если в строб (область пространства, в пределах которой предполагается появление новой отметки для продолжения траектории) попадает одна отметка. Задача значительно усложняется, когда стробы нескольких траекторий перекрываются и в них попадает несколько отметок. Подобная ситуация может быть вызвана различными причинами, например наличием интенсивных дискретных помех (ложных обнаружений) или наблюдением группы близко расположенных целей.

Формализация постановки задачи отождествления сводится к формированию матрицы стробирования  $\mathbf{c} = \|c_{ij}\|$  и гипотез отождествления в виде матриц соответствия  $\boldsymbol{\mu}_k = \|\mu_{ij}^{(k)}\|$  ( $k = \overline{1, N_x}$ ). Размерность матриц равна  $n \times m$ : по строкам матриц откладываются номера траекторий, а по столбцам – отметок.

На пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца в матрице стробирования записывается коэффициент правдоподобия  $c_{ij}$  («цена» отметки), характеризующий близость  $j$ -й отметки ( $j = \overline{1, m}$ ) к центру строба  $i$ -й траектории ( $i = \overline{1, n}$ ).

Совокупность  $N_x$  неповторяющихся матриц соответствия включает все возможные комбинации назначения отметок по траекториям. Элемент матрицы соответствия  $\mu_{ij}^{(k)}$  для  $k$ -й гипотезы отождествления может принимать значение 1 в том случае, если принимается решение о назначении  $j$ -й отметки  $i$ -й траектории, 0 – в противоположном случае. При введении ограничения на возможное отождествление одной траектории только с одной отметкой ( $\sum_{i=1}^n \mu_{ij}^{(k)} = 1$ ) и одной отметки только с одной траекторией ( $\sum_{j=1}^m \mu_{ij}^{(k)} = 1$ ) задача отождествления сводится к классу задач линейного программирования – типа задачи о назначении (задача комбинаторной оптимизации в области исследования операций). Если число строк и столбцов в матрице  $\mathbf{c}$  совпадает, то задача называется *линейной задачей назначения (Linear Assignment Problem, LAP)* [1, 2]. Если в матрице  $\mathbf{c}$  встречаются элементы, равные нулю, то она называется *разреженной* [3].

Решением задачи отождествления  $\hat{\boldsymbol{\mu}}$  является матрица соответствия  $\boldsymbol{\mu}_l$ , для которой критерий качества назначения  $S(\boldsymbol{\mu}_l)$  максимален:

$$\hat{\mu} = \mu_l = \arg \max_k S(\mu_k) = \arg \max_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \mu_{ij}^{(k)}, \quad l \in (1, N_x). \quad (1)$$

Как показано в [4], рассчитать  $N_x$  можно по следующей формуле:

$$N_x = \sum_{l=0}^{\min(n,m)} n!m!/(l!(n-l)!(m-l)!). \quad (2)$$

Число возможных вариантов матриц соответствия  $N_x$  может достигать «больших» значений. Например, при размерности  $n = m = 6$  число вариантов  $N_x = 720$ .

Широкую известность приобрел ряд алгоритмов решения задачи назначения (рисунок 1). С практической точки зрения применимость того или иного алгоритма определяется средним временем  $\tau_{\text{dec}}$ , затраченным на поиск *правильного* решения (1).

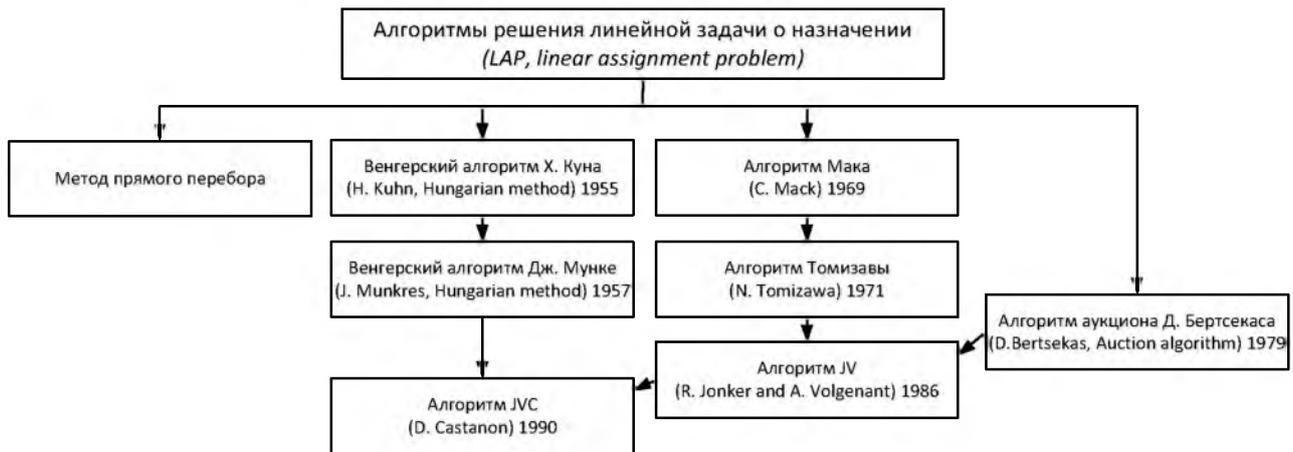


Рисунок 1. – Блок-схема развития алгоритмов решения задачи о назначении

Наиболее простым алгоритмом является прямой перебор, заключающийся в последовательном переборе всех  $N_x$  возможных гипотез назначения и в выборе лучшей из них. Однако существенное значение  $\tau_{\text{dec}}$  ограничивает его широкое применение.

История развития алгоритмов назначения началась в 1955 году с работы Куна (*H. Kuhn*) [5]. Главная идея алгоритма заключается в поочередном поиске в каждом столбце минимального элемента и вычитании его из остальных элементов до получения оптимального назначения. Алгоритм был усовершенствован Мунке (*J. Munkres*) в 1957 году [6], после чего за этим алгоритмом закрепилось название *венгерский*.

В 1969 году Мак (*C. Mack*) предложил новый алгоритм [7]. Использование алгоритма Мака для решения (1) не привело к заметному снижению времени  $\tau_{\text{dec}}$  по сравнению с венгерским алгоритмом. В 1971 году Томизава (*N. Tomizawa*) [8] усовершенствовал алгоритм Мака, что позволило существенно снизить вычислительные затраты. Томизава предложил использовать алгоритм Мака для первичного поиска максимума до того момента, пока не будут вскрыты «конфликтные» ситуации. Для устранения конфликтов применяется поиск кратчайшего пути при помощи алгоритма Дейкстры (*Dijkstra*, алгоритм  $A^*$  и его модификации) от строки до соответствующего столбца.

Кардинально новый алгоритм для решения (1) был предложен Бертсекасом (*D. Bertsekas*) в 1979 году [9]. Он получил название *алгоритм аукциона*. Его отличительной чертой является интуитивный подход к решению задачи о назначении на основе правил реального аукциона. Различают прямой, обратный и комбинированный аукционы. Алгоритм позволил существенно сократить время, затрачиваемое на решение (1).

Дальнейшее развитие алгоритмов решения задачи назначения получило в работе Енкера (*R. Jonker*) и Волгенанта (*A. Volgenant*), опубликованной в 1986 году [2]. Алгоритм получил название JV, по первым буквам фамилий авторов. Алгоритм JV комбинирует

алгоритмы аукциона и Томизавы и составляет конкуренцию алгоритму аукциону по времени  $\tau_{dec}$ .

В ряде публикаций [2] заявляется, что в 1990 году Кастаньен (*D. Castanon*) разработал алгоритм JVC. Однако в публикациях, описывающих алгоритм JVC, представлен алгоритм JV. Первоисточник [10] с описанием алгоритма JVC не доступен. Известно лишь то, что он является модификацией алгоритма JV, в котором вместо алгоритма Томизавы используется алгоритм Мунке. Утверждается, что алгоритм JVC приспособлен решать задачу назначения при неквадратных матрицах лучше других.

В отечественной литературе алгоритм JV описан не достаточно подробно [14, 15], что затрудняет его реализацию на практике, а представленные результаты моделирования в [4] не дают однозначного ответа о его преимуществах по отношению к алгоритму аукциона.

*Целями статьи являются:* рассмотрение особенностей реализации алгоритма JV для решения задачи отождествления принятых отметок с уже сопровождаемыми траекториями; проведение сопоставительного моделирования для подтверждения преимуществ алгоритма JV по отношению к алгоритму аукциона.

### 1. Алгоритм JV

Алгоритм JV предназначен для решения линейных задач назначения. В основе алгоритма лежит [13] сочетание прямого аукциона и идеи Томизавы, которая заключается в поиске кратчайшего пути при помощи алгоритма Дейкстры.

Непосредственно алгоритм JV можно разбить на три блока (рисунок 2): поиск быстрых решений; упрощенный аукцион; поиск кратчайшего пути.



Рисунок 2. – Обобщенное представление алгоритма JV

Входные данные алгоритма JV содержатся в матрице стробирования  $c$  размерностью  $n \times m$ . Если  $n > m$ , то в матрицу  $c$  дописывается  $(n - m)$  столбцов с нулевыми значениями элементов. Если же  $n < m$ , то в  $c$  дописывается  $(m - n)$  нулевых строк. Дописывание матрицы  $c$  позволяет перейти к линейной задаче назначения для квадратной матрицы размерностью  $k \times k$  ( $k = \max\langle n, m \rangle$ ).

Выходные данные JV содержатся в векторе  $x$  в виде пар назначений строк и столбцов матрицы отождествления. Номер назначенной строки соответствует порядковому номеру элемента  $i$  ( $0 \leq i \leq n-1$ ) в векторе  $x$ , а назначенного столбца – значению элемента  $j = x[i]$  ( $0 \leq x[j] \leq n-1$ ). По вектору  $x$  строится матрица решений задачи отождествления  $\hat{\mu}$ .

К промежуточным переменным алгоритма JV относятся:  $not = -n$  – невозможность назначения номера строки или столбца;  $y$  – вектор пар назначений столбца на строку (номер назначенного столбца соответствует порядковому номеру элемента  $j$  ( $0 \leq j \leq n-1$ ))

в векторе  $y$ , а назначенной строки – значению элемента  $i = y[j]$ ;  $v$  – вектор стоимости столбцов;  $UR$  – вектор «свободных» (не назначенных) строк;  $f$  – число «свободных» строк;  $pred$  – вектор кратчайшего пути от «свободной» строки к «сводному» столбцу;  $d$  – стоимость кратчайшего пути.

Под «свободными» строками понимаются номера не назначенных на столбцы строк. Перед выполнением алгоритма JV все элементы  $x$  и  $y$  устанавливаются равными *not*.

Алгоритм JV начинается с блока «Поиск быстрых решений», псевдокод которого представлен на рисунке 3, а. Здесь перебираются элементы каждого столбца (*строка 1*) и выбирается элемент с минимальной стоимостью (*строка 2*). На столбец назначается строка (*строки 4, 5*) с минимальной стоимостью, назначение фиксируется в  $x$ . В случае если строка была ранее назначена, она помечается отрицательным значением и со столбца снимается назначение (*строки 6, 7*). Стоимости столбцов фиксируются в  $v$  (*строка 3*). С 10-й строки псевдокода начинается увеличение стоимости назначенных строк (*строки 17–19*) и определение числа «свободных» строк (*строки 12, 13*). Эффект от увеличения стоимости двойной. Во-первых, назначенные столбцы становятся более «дорогими» по отношению к «свободным». Во-вторых, после увеличения стоимости легче определить кратчайший путь к некоторым «свободным» столбцам.

<pre> 1. FOR <math>j = (n-1) \dots 0</math> DO 2.   <math>k = \arg \min \{ C[i, j]; \text{ где } i=0, 1, \dots, n-1 \};</math> // поиск номера строки    // с минимальной стоимостью 3.   <math>v[j] = C[k, j];</math> // сохранение минимальной стоимости 4.   IF <math>x[k] == \text{not}</math> THEN // если строка свободна 5.     <math>x[k] = j; y[j] = k;</math> // назначается столбец на    // строку и строку на столбец 6.   ELSE // если строка ранее была назначена на столбец 7.     <math>x[k] = -j; y[j] = \text{not};</math> // помечается «конфликт» строк и    // сбрасывается назначение со столбца 8.   END IF 9. END FOR 10. //— Увеличение стоимости назначенных строк 11. FOR <math>i = 0 \dots n-1</math> DO 12.   IF <math>x[i] == \text{not}</math> THEN // если строка «свободна» 13.     <math>UR[f] = i; f = f+1;</math> // сохранение данных    // по «свободной» строке 14.   ELSE 15.     IF <math>x[i] &lt; 0</math> THEN // если «конфликт» строк 16.       <math>x[i] = -x[i];</math> // строка помечается как назначенная 17.     ELSE // если строка назначена 18.       <math>b = \min \{ C[i, j] - v[j];</math> // поиск второй    // минимальной стоимости    // где <math>j=0, 1, \dots, n-1</math>; при <math>j \neq x[i]</math> }; 19.       <math>v[y] = v[y] - b;</math> // увеличение стоимости    // назначенной строки 20.     END IF 21.   END IF 22. END FOR </pre>	<pre> 1. FOR <math>cnt = 0, 1</math> DO 2.   <math>k = 0; f0 = f; f = 0.</math> 3.   WHILE <math>k &lt; f0</math> DO // обработка всех «свободных» строк 4.     <math>i = UR[k]; k = k+1;</math> // номер «свободной» строки 5.     <math>j0 = \arg \min \{ C[i, j] - v[j]; \text{ где } j = 0 \dots n-1 \};</math> // поиск    // номера 1-й минимальной стоимости 6.     <math>v0 = C[i, j0] - v[j0];</math> // значение первой минимальной стоимости 7.     <math>j1 = \arg \min \{ C[i, j] - v[j]; \text{ где } j = 0 \dots n-1, \text{ при } j \neq j0 \};</math> // поиск    // номера 2-й мин. стоимости 8.     <math>v1 = C[i, j1] - v[j1];</math> // значение второй минимальной стоимости 9.     //— Анализ первой наилучшей стоимости 10.    <math>i0 = y[j0];</math> // номер строки первой минимальной стоимости 11.    IF <math>v0 &lt; v1</math> THEN // Если первая и вторая минимальные    // стоимости разные 12.      <math>v[j0] = v[j0] - v1 + v0;</math> // увеличить стоимости столбца 13.    ELSE // Если первая и вторая минимальные стоимости равны 14.      IF <math>i0 \neq \text{not}</math> THEN // Если первая строка назначена 15.        <math>j0 = j1; i0 = y[j1];</math> // перейти к анализу 2-й минимальной    // стоимости и её строки 16.      END IF; 17.    END IF; 18.    //— Установка строке с номером <math>i0</math> признака «свободна» 19.    IF <math>i0 \neq \text{not}</math> THEN // Если строка была ранее назначена 20.      <math>UR[f] = i0; f = f+1;</math> // записать строку в список «свободных» 21.    END IF; 22.    <math>x[i] = j0; y[j0] = i;</math> // назначение строки на столбец 23.  END WHILE; 24. END FOR </pre>
--	--

а

б

Рисунок 3. – Псевдокод блока: а – блок «Поиск быстрых решений»; б – блок «Упрощенный аукцион»

Блок «Упрощенный аукцион» (рисунок 3, б) предназначен для сокращения числа «свободных» строк и дополнительной коррекции цен  $v$  при проведении прямого аукциона (не более двух раз). Такой подход к применению прямого аукциона позволяет быстро найти относительно простые назначения и поднять их стоимость. В блоке для каждой «свободной» строки (номера которых хранятся в  $UR$ ) определяются первая и вторая минимальная стоимости в строке и номера столбцов, их предлагающих (*строки 4–8*). Если значения стоимостей столбцов отличаются, то стоимость лучшего столбца увеличивается на их разность (*строки 11–12*), иначе начинается анализ столбцов (*строки 13–15*). Если назначены

столбцы, которые содержат первую и вторую минимальную стоимость в строке, то анализируемая строка добавляется в вектор «свободных» строк **UR** (строки 19–21).

Блок «Поиск кратчайшего пути» (рисунок 4) предназначен для построения путей (назначений) от «свободных» строк к «свободным» столбцам минимальной стоимости с помощью алгоритма Дейкстры. «Свободные» строки из вектора **UR** перебираются в цикле (строки 2–44). Он начинается с определения номера «свободной» строки (строка 3) и инициализации векторов кратчайшего пути от «свободной» строки к «сводному» столбцу, нахождения стоимости кратчайшего пути (строки 4–6) с последующим переходом к алгоритму Дейкстры.

```

1. f0 = f;
2. FOR f = 0 ... f0-1 DO
3.   i1 = UR [ f ]; # номер «свободной» строки
4.   FOR j = 0 ... n-1 DO # инициализация векторов d и pred
5.     d [ j ] = C [ i1, j ] - v [ j ]; pred [ j ] = i1;
6.   END FOR;
7.   low = 0; up = 0;
8.   WHILE ( true ) # алгоритм Дейкстры
9.     IF up == low THEN # поиск номера столбца с минимальным весом
10.      test = low;
11.      min = d [ col [ up ] ]; up = up + 1;
12.      FOR k = up ... n-1 DO
13.        j = col [ k ]; h = d [ j ];
14.        IF h <= min THEN
15.          IF h < min THEN
16.            up = low; min = h;
17.          END IF
18.          col [ k ] = col [ up ]; col [ up ] = j; up = up + 1;
19.        END IF
20.      END FOR
21.    END IF { up == low }
22.    FOR h = low ... up - 1 DO # Проверка возможности назначения
23.      # столбца на «свободную» строку
24.      j = col [ h ]; # номер столбца с минимальной стоимостью
25.      IF y [ j ] == not then DO # возможно назначение столбца
26.        # на «свободную» строку
27.        Augment(...); GOTO M1; # выход из WHILE к метке M1
28.      END IF
29.    END FOR
30.    # --- Поиск кратчайшего пути от минимального элемента
31.    j1 = col [ low ]; low = low + 1; i = y [ j1 ];
32.    u1 = C [ i, j1 ] - v [ j1 ] - min;
33.    FOR k = up ... n-1 DO
34.      j = col [ k ]; h = C [ i, j ] - v [ j ] - u1;
35.      IF h < d [ j ] THEN
36.        d [ j ] = h; pred [ j ] = i;
37.        IF h == min THEN
38.          IF y [ j ] == not THEN
39.            Augment(...); GOTO M1; # выход из WHILE к метке M1
40.          ELSE
41.            col [ k ] = col [ up ]; col [ up ] = j; up = up + 1;
42.          END IF
43.        END IF
44.      END IF
45.    END FOR
46.  END WHILE
47. M1: # метка выхода после вызова функции Augment(...)
48. END FOR

```

Рисунок 4. – Псевдокод блока «Поиск кратчайшего пути»

В основе алгоритма Дейкстры лежит бесконечный цикл, выход из которого возможен только после выполнения функции *Augment* (рисунок 5) по метке выхода *M1* (строки 24, 36). Бесконечный цикл повторяется до тех пор, пока «свободной» строке не будет назначен

«свободный» столбец. Одну итерацию бесконечного цикла можно логически разбить на два этапа. Первый этап заключается в определении минимальной стоимости столбца и его номера для фиксированной строки (*строки 10–26*). Этап включает проверку – столбец «свободен» (*строки 21–26*). При выполнении этого условия происходит выход из бесконечного цикла через функцию *Augment* к метке *M1* (*строка 43*). В противоположном случае происходит переход ко второму этапу. На втором этапе ищется альтернативный столбец (*строки 28–33*). Этот этап практически аналогичен первому, за исключением того, что поиск свободного «столбца» начинается со следующего «свободного» столбца, идущего после минимального (найденного на первом этапе). Каждый вариант кратчайшего пути проверяется на возможность назначения (*строки 34–40*).

```
[ x, y ] = Augment(x, y, pred, col, d, v, last, i, i1, j, min)
1.  | FOR k = 0 ... last-1 DO // обновление стоимостей столбцов
2.  |   j1 = col [ k ]; v [ j1 ] = v [ j1 ] + d [ j1 ] - min ;
3.  | END FOR;
4.  | DO // назначение строк на столбцы и наоборот
5.  |   i = pred [ j ]; y [ j ] = i; k = j; j = x [ i ]; x [ i ] = k;
6.  | WHILE i != i1
```

Рисунок 5. – Псевдокод функции «*Augment*»

Главной задачей функции «*Augment*» является пересчет стоимостей назначенных строк и столбцов (*строки 1–3*), а также учет результатов назначения в соответствующих векторах *x* и *y* (*строки 4–6*).

## 2. Математическое моделирование

Для проверки работоспособности и определения вычислительных затрат алгоритма JV был разработан комплекс математического моделирования, описанный в [11]. Данный комплекс позволяет сопоставить по среднему времени  $\tau_{\text{dec}}$ , затраченному на поиск *правильных* решений, алгоритмы JV, прямого, обратного и комбинированного аукционов.

Алгоритмы аукциона были описаны в статье [11]. Однако для алгоритма комбинированного аукциона требуется уточнение условий перехода от прямого аукциона к обратному и наоборот. На рисунке 6 приведен псевдокод комбинированного аукциона. Алгоритм начинается с прямого аукциона. Он выполняется один раз, после чего проверяется условие, назначены все столбцы на строки или нет. Если назначены, алгоритм заканчивается. В противном случае выполняется алгоритм обратного аукциона, который проводится также один раз, после чего проверяется условие, назначены все строки или нет. Алгоритмы прямого и обратного аукционов повторяются до тех пор, пока не будут назначены все строки и столбцы.

Моделирование проводилось на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 3.00 GHz. Для каждого опыта с номером  $k_t$  комплекс моделирования позволяет формировать исходную матрицу стоимости размерностью  $n \times m$ , со случайными значениями элементов, подавать ее на вход алгоритмов JV, прямого, обратного и комбинированного аукционов, сохранять результаты и показатели качества распределения отдельно для каждого алгоритма.

Показателем качества в  $k_t$ -м опыте считалось время решения  $\tau_{\text{реш}}(k_t)$  задачи распределения при выполнении условия (1). По всем  $N$  опытам вычислялось среднее время

$$\tau_{\text{dec}} = \frac{1}{N} \sum_{k_t} \tau_{\text{реш}}(k_t).$$

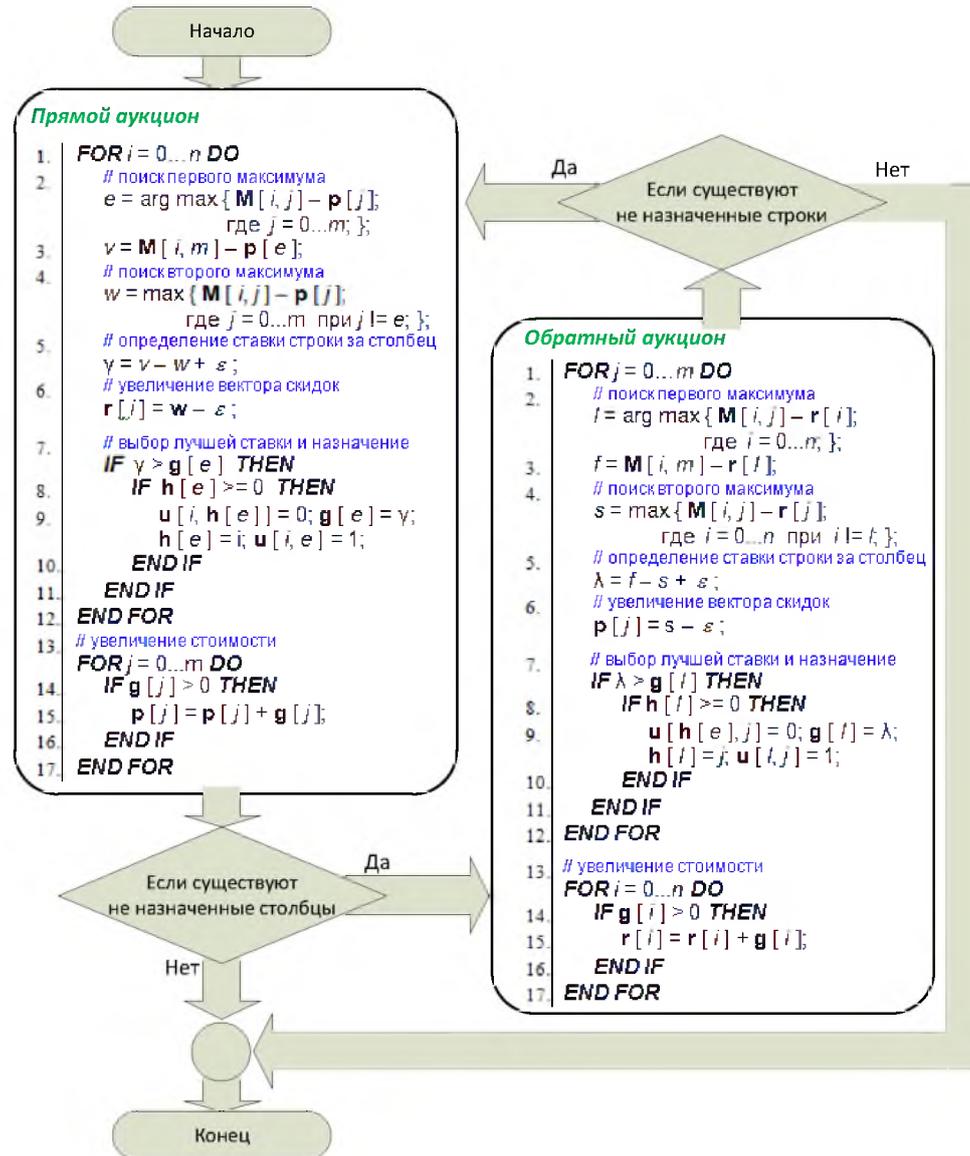
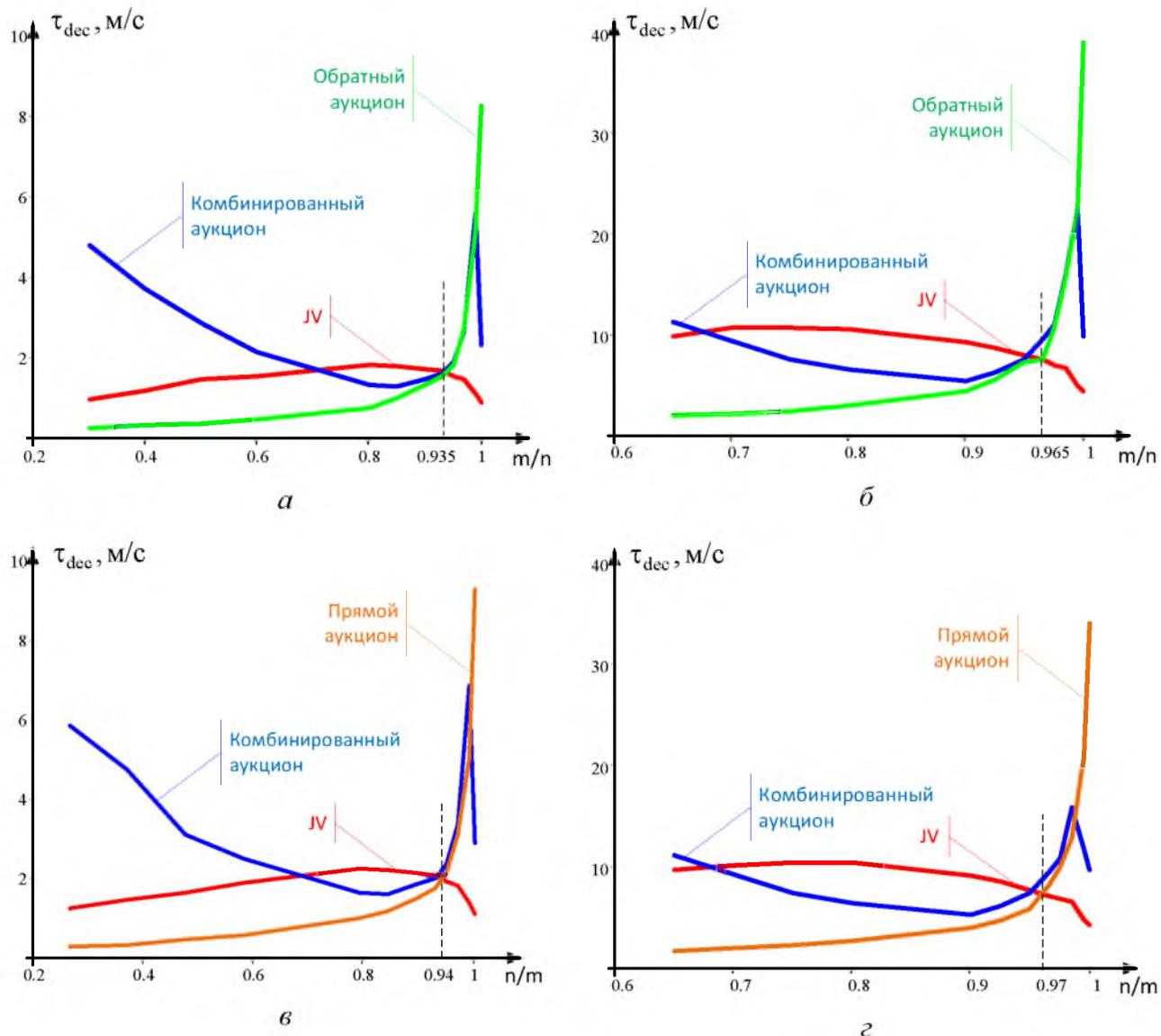


Рисунок 6. – Псевдокод комбинированного аукциона

На рисунке 7 показаны зависимости изменения  $\tau_{\text{dec}}$  от отношения размерностей матрицы стробирования  $n/m$  или  $m/n$  для сопоставляемых алгоритмов при числе опытов  $N = 1000$ .

Время  $\tau_{\text{dec}}$ , затраченное комбинированным аукционом на решение линейной задачи назначения ( $n/m = 1$  или  $m/n = 1$ ), значительно меньше, чем в прямом и обратном аукционах. Однако алгоритм JV на решение той же задачи затрачивает в два раза меньше времени, чем алгоритм комбинированного аукциона.

Когда  $m < n$  в матрице  $c$  (рисунок 7, а, б) и отношение  $m/n$  менее 0,935 (для  $n = 100$ ) или 0,97 (для  $n = 200$ ), наблюдается преимущество обратного аукциона по отношению ко всем остальным алгоритмам, так как в этом случае поиск начинается с меньшего числа «свободных» строк, что в свою очередь позволяет быстро поднять цены на назначенные элементы. Пороговые значения 0,935 для  $n = 100$  и 0,965 для  $n = 200$  соответствуют разности  $(n - m) \approx 7$ . Если  $(n - m) \leq 7$ , алгоритм JV обеспечивает наименьшее время  $\tau_{\text{dec}}$  по отношению к аукционам.



*a, б* – фиксированное число строк  $n$  и изменяющееся число столбцов  $m$ ,  $n = 100$ ,  $m = 30 \dots 100$ ;  $n = 200$ ,  $m = 130 \dots 200$  соответственно;

*в, г* – фиксированное число столбцов  $m$  и изменяющееся число строк  $n$ ,  $m = 100$ ,  $n = 30 \dots 100$ ;  $m = 200$ ,  $n = 130 \dots 200$  соответственно

Рисунок 7. – Зависимость изменения  $\tau_{\text{dec}}$  от отношения размерностей матрицы стробирования  $n/m$  или  $m/n$

Когда  $n < m$  в матрице  $c$  (см. рисунок 7, *в, г*) и отношения  $n/m$  менее 0,94 (для  $m=100$ ) или 0,965 (для  $m=200$ ), наблюдается преимущество прямого аукциона по отношению ко всем остальным алгоритмам. Пороговые значения 0,94 для  $m=100$  и 0,97 для  $m=200$  соответствуют разности  $(m-n) \approx 7$ . Если  $(m-n) \leq 7$ , алгоритм JV обеспечивает наименьшее время  $\tau_{\text{dec}}$  по отношению к аукционам.

### Заключение

Особенностью реализации алгоритма JV является сочетание прямого аукциона для поиска быстрых решений и алгоритма Дейкстры для поиска окончательного решения в не тривиальных случаях задачи назначения.

Представленный в статье псевдокод алгоритма JV можно применять для решения задачи отождествления принятых отметок с сопровождаемыми траекториями на этапе ВОИ.

Для эффективного использования алгоритмов отождествления при решении линейных и нелинейных задач назначения имеет смысл сочетать алгоритмы JV, прямой и обратный аукционы. Так, в случае когда матрица квадратная (линейная задача назначения), необходимо использовать алгоритм JV. Когда число строк превышает число столбцов больше чем на 7, необходимо использовать обратный аукцион. Если число столбцов превышает число строк больше чем на 7, необходимо использовать прямой аукцион.

#### Список литературы

1. Burkard, R. Assignment Problems / R. Burkard, M. Dell'Amico, S. Martello // Philadelphia. – 2009. – 382 p.
2. Jonker, R. A. Shortest Augmenting Path Algorithm for Dense and Sparse Linear Assignment Problems / R. Jonker, A. Volgenant // Computing. – 1987. – № 38. – P. 325–340.
3. Malkoff, D. B. Evaluation of the Jonker-Volgenant-Castanon (JVC) assignment algorithm for track association / D. B. Malkoff // SPIE. – 1997. – Vol. 3068. – P. 228–239.
4. Popp, R. L. Dynamically Adaptable  $m$ -Best 2-D Assignment Algorithm and Multilevel Parallelization / R. L. Popp, R. L. Pattipati, Y. Bar-Shalom // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 1999. – Vol. 35, № 4. – P. 1145–1158.
5. Юдин, Д. Б. Задачи и методы линейного программирования / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. – М.: Сов. радио. – 1961. – 491 с.
6. Munkres, J. Algorithms for the Assignment and Transportation Problems / J. Munkres // J. of the Society for Industrial and Applied Mathematics. – 1957. – Vol. 5, № 1. – P. 32–38.
7. Банди, Б. Основы линейного программирования / Б. Банди; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
8. Tomizawa, N. On Some Techniques Useful for Solution of Transportation Network Problems / N. Tomizawa // Networks. – 1971. – № 1. – P. 173–194.
9. Bertsekas, D. P. Auction Algorithms for Network Flow Problems: A Tutorial Introduction / D. P. Bertsekas. – 1992. – 54 p.
10. Drummond, O. E. Comparison of 2-D Assignment Algorithms for Sparse, Rectangular, Floating Point, Cost Matrices / O. E. Drummond, D. A. Castanon, M. S. Bellovin // J. of the SDI Panels on Tracking. – 1990. – № 4. – P. 4–97.
11. Михалковский, А. А. Особенности применения алгоритма аукциона для решения задачи отождествления на этапе вторичной обработки радиолокационной информации / А. А. Михалковский, А. С. Солонар // Вестн. ПГУ. Сер. С. – 2014. – № 4. – С. 95–102.
12. Фарина, А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, А. Студер; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
13. Bar-Shalom, Y. Estimation with Applications To Tracking and Navigation / Y. Bar-Shalom, X.-Rong Li, T. Kirubarajan. – New York, 2001. – 558 p.
14. Коновалов, А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Ч. 1 / А. А. Коновалов. – СПб.: ЛЭТИ, 2013. – 164 с.
15. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. справ. / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 510 с.

\*Сведения об авторах:

Солонар Андрей Сергеевич,  
 Михалковский Артем Александрович,  
 УО «Военная академия Республики Беларусь».  
 Статья поступила в редакцию 15.03.2017г.

УДК623.6

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО ПРОТИВНИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ОХРАНЫ СТАРТОВЫХ ПОЗИЦИЙ ПВО

А. И. Федоров, кандидат технических наук, доцент;  
В. С. Демешко\*

*Статья посвящена разработке методики расчета показателей качества обнаружения наземного противника. Обоснован способ вычисления вероятности обнаружения и вероятности ложного срабатывания наземного противника по сигналам одиночных датчиков, работающих по принципу мажоритарной логики. Получены выражения для расчета характеристик системы охраны с учетом привязки к конкретным условиям охраняемого объекта.*

*The article is devoted to the development of the method of the calculation the indicators of quality of the ground enemy detection. It was justified the way of calculating the probability of false alarm of the ground enemy by signals of a single sensor operating on the principle of majority logic. The expressions for calculation of the characteristics of the system of the protection were obtained with considering the binding to the specific conditions of the protected object.*

Анализ локальных войн и вооруженных конфликтов второй половины XX начала XXI века позволяет сделать вывод о важности действий сил специальных операций (ССО), а именно диверсионно-разведывательных групп (ДРГ), как в период нарастания военной угрозы, так и в ходе боевых действий.

Одним из приоритетных направлений деятельности ДРГ является вывод из строя системы противовоздушной обороны (ПВО) государства. В связи с этим организация эффективного противодействия ССО в условиях современных войн и конфликтов приобретает первостепенное значение. Особенно это важно при решении вопросов по организации охраны и обороны стартовых позиций (СП) подразделений зенитно-ракетных войск, в том числе и вооруженных зенитно-ракетными комплексами малой дальности [1].

В целях исключения внезапного нападения противника организуется охранение СП [2].

Для обеспечения требуемого уровня безопасности охраняемых объектов одним из направлений может быть автоматизация процессов обнаружения и нейтрализации угроз с минимальной степенью участия человека. При этом на человека возлагаются задачи принятия решения и контрольные функции, а роль боевых средств будут выполнять роботизированные платформы, способные обнаруживать противника в любых условиях и поражать его по команде оператора.

Основным структурным элементом системы автоматизированной охраны является комплекс средств обнаружения, который может быть построен на базе пассивных систем обнаружения, работающих на разных физических принципах, и типах чувствительных элементов, воспринимающих воздействие нарушителей при пересечении их чувствительных зон [3]. Такими датчиками являются:

- емкостной датчик;
- радиоволновой;
- вибрационный;
- сейсмический;
- магнитометрический [4].

Достоинства и недостатки того или иного датчика обусловлены физикой сигналаобразования. Выбор конкретного типа датчика зависит от условий местности, расположения объекта охраны, а также источников ложных срабатываний [5].

На рисунке показан пример реализации системы охраны пассивными датчиками.

С северо-западной и северо-восточной сторон для охраны периметра возможно использовать радиоволновые датчики. Размеры зоны обнаружения радиоволновых датчиков

несколько меньше, чем у вибрационных, однако наличие дороги вблизи ограждения подразделения исключает возможность использования вибрационных датчиков.

С юго-западной и юго-восточной сторон установлены вибрационные датчики на проволочное ограждение.

На опасных подступах к району СП установлены сейсмические датчики для более надежного и достоверного обнаружения.

Центральный пункт обработки информации от пассивных датчиков будет находиться у дежурного по батарее, откуда и будет осуществляться контроль системы. Питание датчиков может быть от аккумуляторных батарей.

Связь между пассивными датчиками и пунктом управления возможно организовать двумя способами: с помощью радиосвязи или проводных линий связи.

Радиосвязь может применяться, когда подразделение находится на учениях, стрельбах или при ведении боевых действий в наступлении. В этом случае питание датчиков осуществляется от аккумуляторных батарей. Однако излишний выход в эфир является демаскирующим фактором позиции.

Однако в мирное время и при ведении боевых действий в обороне в качестве линий связи предпочтительнее использовать проводные линии связи, поскольку в этом случае возможна организация электропитания датчиков по ним и обеспечение режима радиомаскировки. Выбор проводных линий связи обусловлен стационарностью позиции подразделения.

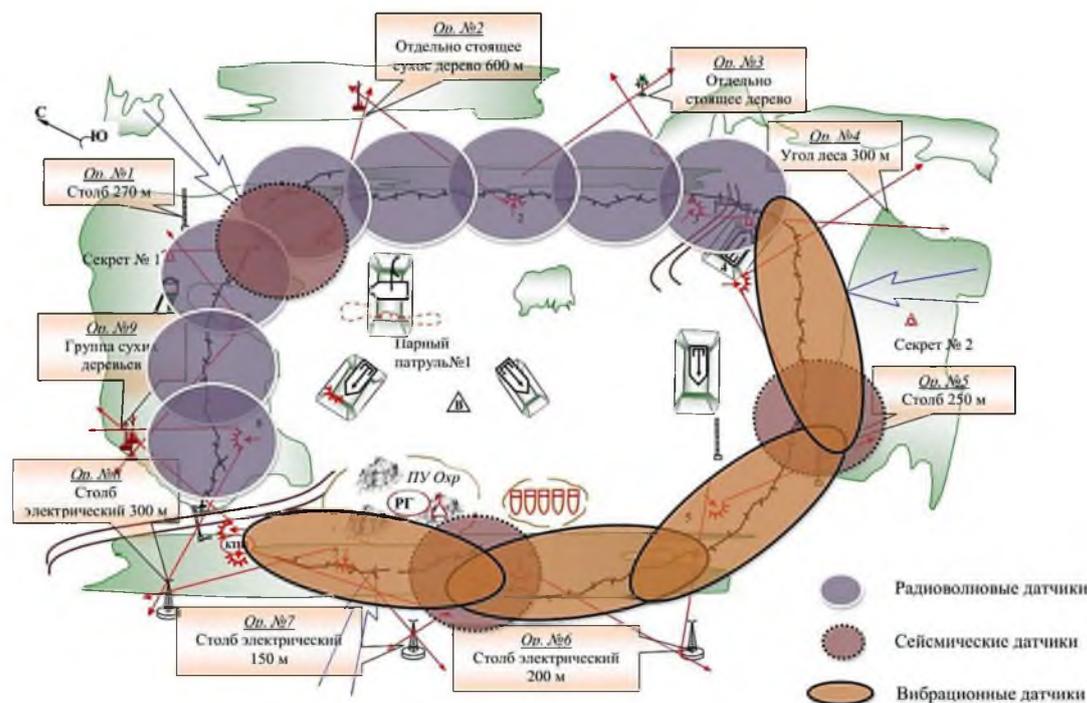


Рисунок. – Реализации системы охраны пассивными датчиками (вариант)

Основными показателями качества такой системы являются вероятность обнаружения наземного противника и вероятность ложного срабатывания.

Сложность расчета вероятности обнаружения состоит в том, что испытания на полигоне проводятся при использовании модели подготовленного нарушителя. В то же время в процессе эксплуатации датчика на реальном объекте преступные посягательства могут совершать так называемые квалифицированные нарушители, способные осуществлять обход работоспособного датчика обнаружения.

Будем считать, что если предметами защиты объекта являются личный состав, вооружение и военная техника, материальные ресурсы, то этот объект имеет категорию «важный». В этой категории объектов преобладают подготовленные нарушители (до 85 %), а количество квалифицированных нарушителей составит 5–15 %.

Квалифицированные нарушители в отличие от подготовленных совершают действия за пределами требований технических условий на датчики, например очень медленные перемещения ползком с длительными остановками, и способны обойти работоспособный датчик, удовлетворяющий всем требованиям технических условий.

В общем случае выражение для вероятности пропуска нарушителя датчиком обнаружения, установленным на  $i$ -ом рубеже охраны объекта, можно записать в виде [6]

$$P_{\text{пр}i} = P_{\text{пр}}(1 - m) + P_{\text{к}}(m),$$

где  $P_{\text{пр}i}$  – вероятность пропуска подготовленного нарушителя датчиком обнаружения  $i$ -го рубежа охраны с учетом возможности выхода датчика из строя из-за внезапного отказа;

$(1 - m)$  – количество подготовленных нарушителей, посягающих на охраняемый объект;

$P_{\text{к}}$  – вероятность обхода датчика квалифицированным нарушителем, в общем случае принимается равной 0,5;

$m$  – количество квалифицированных нарушителей, посягающих на охраняемый объект (для важного объекта примем  $m = 0,1$ );

$$P_{\text{пр}i} = 1 - P_{\text{об}i}P_{\text{б}i},$$

где  $P_{\text{об}i}$  – вероятность обнаружения работоспособного датчика, указанная в его технических условиях;

$P_{\text{б}i}$  – вероятность безотказной работы датчика, определяемая по формуле:

$$P_{\text{б}i} = \exp(-T_{ki} / T_{oi}),$$

где  $T_{ki}$  – период контроля работоспособности датчика обнаружения, указанный в его технических условиях ( $T_{ki} = 24$  ч);

$T_{oi}$  – среднее время наработки на отказ датчика обнаружения, указанное в его технических условиях, обычно составляющее 3–5 тыс. ч.

Для повышения надежности обнаружения нарушителя и для уменьшения вероятности ложного срабатывания обычно используют алгоритмы мажоритарной логики в участковом приборе для обработки выходных сигналов нескольких датчиков, установленных на одном участке периметра территории объекта [7].

Рациональным вариантом может быть использование мажоритарной логики 2 из 3. Сущность этого варианта состоит в том, что на каждом участке периметра сигналы датчиков различных рубежей охраны попарно обрабатываются по схеме И, т. е. 1 и 2, 2 и 3, 1 и 3, а затем выходные сигналы этих схем совпадений И объединяются по схеме ИЛИ. Тем самым реализуется алгоритм обнаружения нарушителя хотя бы одной парой датчиков из трех. В этом случае расчетные формулы для вероятностей обнаружения можно представить в виде:

$$P_{1и2} = (1 - P_{\text{пр}1})(1 - P_{\text{пр}2});$$

$$P_{2и3} = (1 - P_{\text{пр}2})(1 - P_{\text{пр}3});$$

$$P_{1и3} = (1 - P_{\text{пр}1})(1 - P_{\text{пр}3});$$

$$P_{2/3} = 1 - (1 - P_{1и2})(1 - P_{2и3})(1 - P_{1и3}).$$

Сложность расчета среднего времени наработки на ложное срабатывание состоит в том, что испытания датчиков обнаружения на помехоустойчивость в полигонных условиях проводятся изготовителем в условиях помеховой обстановки, которая характерна для данного полигона, в то время как в процессе эксплуатации датчика на реальном объекте интенсивность помеховой обстановки может быть существенно выше.

Кроме того, при использовании схем мажоритарной логики необходимо учитывать долю тревог от источников помех, которые способны вызывать одновременно ложные срабатывания двух датчиков, построенных на различных принципах действия.

Согласно [8] при использовании пуассоновской модели потока ложных срабатываний вероятность хотя бы одного ложного срабатывания за время наблюдения  $T$  для  $i$ -го датчика можно определить по формуле

$$P_{лci} = 1 - \exp[-K_{лс} / T_{лci}],$$

где  $T_{лci}$  – среднее время наработки на ложные срабатывания  $i$ -го датчика, указанное в его технических условиях;

$K_{лс}$  – коэффициент интенсивности помеховой обстановки на охраняемом объекте, определяемый соотношением

$$K_{лс} = N_o / N_n,$$

где  $N_o$  – количество ложных срабатываний датчика в год на охраняемом объекте;

$N_n$  – количество ложных срабатываний датчика в год на полигоне.

Коэффициент интенсивности помеховой обстановки на охраняемом объекте показывает, во сколько раз количество ложных срабатываний датчика на объекте будет больше, чем количество ложных срабатываний этого датчика на полигоне.

В комплексе технических средств охраны с  $n$  рубежами охраны количество ложных срабатываний зависит от вида схемы мажоритарной обработки выходных сигналов датчиков.

Рассмотрим вариант использования схемы мажоритарной логики 2 из 3, когда выходные сигналы датчиков попарно обрабатываются по схеме И, а затем выходные сигналы этих схем совпадений И объединяются по схеме ИЛИ.

С учетом наличия доли совпадающих помех, вызывающих одновременно сигналы тревоги на выходах извещателей 1 и 2, выражение для вероятности ложных срабатываний на выходе схемы совпадений И можно представить в виде

$$P_{лс1и2} = \rho P_{лс1} + (1 - \rho) P_{лс1} P_{лс2/1},$$

где  $(1 - \rho)$  – доля несовпадающих помех на объекте;

$\rho$  – доля совпадающих помех на объекте;

$P_{лс1}$  – вероятность ложных срабатываний 1-го датчика;

$P_{лс2/1}$  – условная вероятность ложных срабатываний 2-го датчика при условии, что уже сработал 1-й датчик и выдал на схему И сигнал тревоги длительностью  $T_c$ :

$$P_{лс2/1} = 1 - \exp[-T_{ci} K_{лс} / T_{лс2}],$$

где  $T_{ci}$  – длительность временного строба, равная увеличенной участковым прибором длительности сигнала тревоги  $i$ -го датчика ( $T_{ci} = 5-30$  мин);

$T_{лс2}$  – среднее время наработки на ложное срабатывание 2-го датчика.

С учетом того, что  $T_{ci} < 1$  ч, а  $T_{лс2} > 100$  ч, следует, что  $P_{лс2/1} \ll 1$ . В этом случае выражение можно упростить и привести к виду

$$P_{лс2и1} = P_{лс1}(\rho + P_{лс2/1}).$$

В развернутой форме данное выражение можно записать в виде:

$$P_{лс2и1} = 1 - \exp[-T / T_{лс1и2}] = 1 - \exp[-TK_{лс} / T_{лс1}] \{ \rho + 1 - \exp[-(T_{c1} K_{лс}) / T_{лс2}] \}.$$

Известно, что  $1 - \exp x = x$  при  $x \ll 1$ . Учитывая, что время наблюдения  $T \ll T_{лс1}$  и длительность временного строба  $T_{c1} \ll T_{лс2}$ , получим следующее соотношение:

$$T / T_{лс1и2} = ((TK_{лс}) / T_{лс1}) (\rho + T_{c1} K_{лс} / T_{лс2}).$$

Из этого выражения следует искомое выражение наработки на ложное срабатывание на выходе схемы И, объединяющей выходные сигналы датчиков 1 и 2:

$$T_{лс1и2} = (T_{лс1} B_2) / K_{лс},$$

где  $B_2$  – выигрыш по количеству ложных срабатываний схемы И по сравнению с количеством ложных срабатываний одного датчика.

Значение выигрыша по помехоустойчивости определяется формулой

$$B_2 = [\rho + (T_{c1} K_{лс}) / T_{лс2}]^{-1}.$$

Для реализации схемы мажоритарной логики 2 из 3 необходимо провести аналогичный расчет еще для двух пар датчиков, объединенных по схеме И:

$$T_{\text{лс } 2 \text{ и } 3} = T_{\text{лс } 2} B_3 / K_{\text{лс}};$$

$$T_{\text{лс } 3 \text{ и } 1} = T_{\text{лс } 3} B_1 / K_{\text{лс}}.$$

Затем определить среднее время наработки на ложное срабатывание комплекса средств охраны. Данное время можно найти по формуле

$$T_{\text{лс } 2/3} = [T_{\text{лс } 1 \text{ и } 2}^{-1} + T_{\text{лс } 2 \text{ и } 3}^{-1} + T_{\text{лс } 3 \text{ и } 1}^{-1}]^{-1}.$$

Например, для случая  $T_{\text{лс } 1} = 240$  ч,  $T_{\text{лс } 1 \text{ и } 2} = T_{\text{лс } 2 \text{ и } 3} = T_{\text{лс } 3 \text{ и } 1} = 2400$  ч, получим  $T_{\text{лс } 2/3} = 800$  ч, т. е. использование схемы мажоритарной логики 2 из 3 позволяет уменьшить количество ложных срабатываний в  $800/240 = 3,3$  раза при интенсивности помеховой обстановки  $K_{\text{лс}} = 1$ .

Предложенные формулы позволяют выполнить расчет тактических характеристик комплекса обнаружения, реализующего схему мажоритарной логики с учетом привязки к конкретным условиям охраняемого объекта, а также свести к минимуму вероятность ложных срабатываний.

Таким образом, предложенная система охраны и обороны стартовой позиции позволит:

- повысить вероятность обнаружения наземного противника;
- повысить оперативность оповещения о вторжении наземного противника за счет применения датчиков, работающих на разных физических принципах;
- сконцентрировать внимание личного состава из числа взвода охраны и обороны на наиболее опасных и уязвимых участках местности.

Предварительные расчеты показывают, что применение комплекса обнаружения с использованием технических средств охраны, работающих по принципу мажоритарной логики, позволит сократить до 20 % количество личного состава, выделяемого для решения задач по охране и обороне стартовой позиции из штатных расчетов подразделений зенитных ракетных войск.

#### Список литература

1. Подлесный, Е. Я. Локальные войны и вооруженные конфликты: учеб. пособие: в 2 ч. / Е. Я. Подлесный, В. И. Шатько. – Минск: ВА РБ, 1998.
2. Кочетков, П. Ф. Тактика войсковой ПВО. Основы боевого применения подразделений ПВО, вооруженных ЗРК «Оса-АКМ»: учеб. пособие / П. Ф. Кочетков. – Минск: ВА РБ, 2016.
3. Задачи и проблемы охраны объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.v1electronics.ru/zadachi-i-problemy-vibora](http://www.v1electronics.ru/zadachi-i-problemy-vibora). – Дата доступа: 06.12.2016.
4. Магуенов, Р. Г. Направления развития зарубежных средств наблюдения за полем боя / Р. Г. Магуенов. – М.: Радиотехника, 2004.
5. Повышение эффективности охраны стартовых (огневых) позиций подразделений войсковой ПВО: отчет о НИР (заключ.) / А. И. Федоров. – Минск: ВА РБ, 2016. – Инв. № 2067/16.
6. Алаухов, С. Ф. Методы оценки эффективности систем охраны важных объектов / С. Ф. Алаухов, В. Я. Коцерубов, В. А. Первушинский // Современные охраняемые технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: материалы ВНИК. – Пенза: НИЦ ПГУ, 2002.
7. Мишин, Е. Т. Применение технических средств в системах народно-хозяйственных объектов / Е. Т. Мишин, В. А. Леонов, Г. П. Панин. – М.: МАП СССР, 1985.
8. Шепитько, Г. Е. Проблемы охранной безопасности объектов / Г. Е. Шепитько; под ред. проф. В. А. Минаева. – М.: Русское слово, 1995.

\*Сведения об авторах:  
Федоров Александр Иванович,  
Демешко Виктор Сергеевич,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 30.12.2016 г.

## РАЗРАБОТКА, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

---

УДК 623.355.6

### АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В. Ю. Банников, кандидат военных наук, доцент;

В. Н. Цыганков, кандидат военных наук, доцент\*

*В статье проведен анализ основных технических решений, применяемых в армиях иностранных государств, позволяющих обеспечить эффективную защиту автомобильной техники от оружия различных видов, повысить ее живучесть.*

*In article the analysis of the basic technical decisions in armies of the foreign states is carried out, allowing to provide effective protection of automobile technics against a various type of weapon, to raise its survivability.*

Военная автомобильная техника (ВАТ) относится к одному из самых многочисленных видов вооружения военной и специальной техники (ВВСТ), обеспечивающих подвижность войск армии любого государства. Например, только в вооруженных силах США легких по массе автомобилей военного назначения типа «Хаммер» насчитывается 200 тыс. единиц, в том числе 160 тыс. – в Сухопутных войсках. Образцы ВАТ широко применяют не только для транспортировки личного состава и военных грузов, но и как базовые шасси под монтаж различных видов вооружения и техники, включая специальные во всех видах и родах войск. Именно поэтому технический уровень оснащённости ВАТ наряду с мобильностью частей и подразделений, эффективностью функционирования систем их материально-технического обеспечения, определяет боевой потенциал формирований.

Применение ВАТ в качестве средства подвижности различных артиллерийских систем, зенитно-ракетных комплексов, средств связи и других видов вооружения и техники позволило значительно повысить маневренность и подвижность войск. Однако при этом остро встала проблема обеспечения защищенности от средств поражения противника не только экипажей, но также самого средства подвижности. Поэтому одной из основных задач обеспечения боевой эффективности ВАТ в армиях зарубежных стран является повышение ее живучести. Таким образом, перед конструкторами автомобилей встала задача превратить их в высокоэффективные броневые автомобили, в каждом из которых будут сочетаться функции транспортного средства и боевой машины повышенной живучести.

Анализ развития броневых автомобилей [1, 2, 3] показывает, что обеспечение их живучести производится с применением различных технических решений.

*В целях обеспечения защиты от ударной волны, от осколков мин и снарядов применяется оптимизация компоновочной схемы автомобиля. Она предусматривает размещение экипажа, основных узлов и агрегатов машин в местах, ограничивающих воздействие отмеченных выше поражающих факторов.*

При этом одним из приоритетных направлений является реализация принципа – чем меньше цель, тем труднее в нее попасть. Этот принцип используют все производители автомобилей. В классе боевых колесных машин сделан акцент на легкие и средние автомобили полной массой 6–7 т. Однако габариты агрегатов, оборудования и внутренние объемы не позволяют полностью использовать вышеуказанный подход. Поэтому конструкторы стараются оптимизировать габариты, максимально уменьшить высоту машин, применять схему «клиренс + внутренний объем салона». Регулируемая подвеска позволяет поднимать и опускать корпус машины в зависимости от выполняемых задач.

*Повышение живучести автомобиля осуществляется за счет обеспечения его скрытности. Скрытность броневых автомобилей осуществляется за счет применения*

маскирующего окрашивания (рис. 1), использования систем пуска дымовых (аэрозольных) завес, снижения заметности в радиодиапазоне, инфракрасном и оптическом диапазонах.



Рисунок 1. – Применение маскирующего окрашивания автомобиля

Достижение «малозаметности» от средств радиолокации наземных целей достигается применением радиопрозрачных композитных материалов (керамическая или композитная броня). Снижение видимости узлов и агрегатов из металла осуществляется их экранированием. Скрытность передвижения броневедомости обеспечивается применением тяговых электродвигателей, тепловое излучение которых не превышает 5–15 % от подводимой к ним электроэнергии, в то время как у двигателя внутреннего сгорания рассеивается в виде теплового излучения до 70 % энергии сгорающего в нем топлива. Звук двигателя внутреннего сгорания демаскирует автомобиль, а электродвигатели могут быть практически бесшумными. Бесшумная работа двигателя достигается также благодаря сбалансированности деталей, максимально снижающей вибрацию, помимо этого применяются высокоэффективные системы охлаждения выпускных газов, системы компьютерного управления вентиляторами охлаждения и турбиной наддува.

*Применение различных видов бронирования в значительной степени влияет на обеспечение живучести автомобиля.* Сегодня существуют два основных варианта обеспечения защиты от пуль, осколков и кумулятивных боеприпасов.

*Первый* – исполнение броневой конструкции с неизменным уровнем защиты при условии обеспечения высокой стойкости. Примером может служить броневая конструкция германского броневедомости «Боксер», которая обеспечивает защиту от 30-мм бронебойно-подкалиберных снарядов автоматических пушек при массе машины 30 т.

*Второй* – применение базового уровня защиты с возможностью усиления броневой конструкции в зависимости от условий обстановки. Дополнительная (навесная) защита устанавливается на некотором расстоянии от основного корпуса и изготавливается, как правило, из композиционных материалов.

Например, корпус броневедомости VBCI изготовлен из алюминиевой брони с накладками из броневой стали или титана, обеспечивающих защиту от 14,5-мм бронебойных пуль или 25-мм бронебойных снарядов соответственно.

Одним из конструктивных решений является применение днища корпуса, имеющего V-образное сечение (рисунок 2), что способствует отражению ударной волны или осколков мин.

Подбор оптимальных углов наклона броневых листов позволяет повысить защиту экипажа от бокового обстрела из стрелкового оружия (рисунок 3). Кроме того, применяется дополнительное навесное бронирование с использованием различных экранов и противоккумулятивных решеток.

В армии США на большинстве моделей ВАТ применяется бронирование вынесенного за базу автомобиля моторного отсека, который на подрыве берет на себя львиную долю энергии взрыва и позволяет противостоять легкому и тяжелому стрелковому оружию боевиков, практически преобладающему в их вооружении.

В вооруженных силах многих иностранных государств нашли широкое применение нетрадиционные броневые материалы (сталь заменяется керамикой, алюминием и армированными пластмассами), усиление броневой защиты передней и боковых частей корпуса керамическими плитками, бронирование сидений водителя и командира снизу, бронирование ветровых стекол, бронирование защиты днища кузова, двигателя, трансмиссии, раздаточной коробки и топливного бака.



Рисунок 2. – Бронеавтомобиль «Динго-2»



Рисунок 3. – Бронеавтомобиль «Игл-4»

Для достижения высокой противоминной стойкости при конструировании бронеавтомобилей широко применяют следующие решения: использование прочной кабины-капсулы; оборудование боевого отделения многослойным днищем; размещение наружных панелей, поглощающих энергию взрыва; применение дополнительных защитных панелей на полу; увеличение динамического хода колес; конструктивное отделение сидений от пола.

Кабина-капсула при подрыве на mine служит надежной защитой для экипажа, а оставшаяся часть машины подвержена разрушению. Укрепление не всей машины, а только кабины позволило заметно снизить общую массу автомобиля и обеспечить с большой степенью вероятности выживание личного состава.

Сидения специальных конструкций не имеют жесткой связи с полом автомобиля и защищают от поражения опорно-двигательный аппарат человека. Наиболее распространенным вариантом является крепление сидений к потолку корпуса автомобиля с помощью гибких связей.

Оборудование автомобиля наружными панелями обеспечивает рассеивание энергии взрывных устройств.

Использование вышеперечисленных конструктивных решений обеспечивает выживание экипажа при подрыве на фугасном устройстве мощностью до 8 кг в тротиловом эквиваленте под колесом и 6 кг под днищем машины.

На живучесть автомобиля в определенной степени влияет его подвижность. Повышение подвижности автомобиля позволяет быстро и своевременно выйти из-под огня противника. Для этого на современных и разрабатываемых образцах бронеавтомобилей прослеживаются тенденции применения [1]:

- гидромеханических и электрических трансмиссий;
- гидропневматических подвесок;
- более мощных двигателей с турбокомпрессорами с изменяемой геометрией и электронными блоками управления режимом работы двигателя;
- противобуксовочных и антиблокировочных систем;
- системы управления межосевыми и межколесными дифференциалами;
- электрических приводов колес (рисунок 4), модернизированных систем автоматического регулирования давления воздуха в шинах, а также боестойких шин.

На новых бронеавтомобилях зарубежного производства используется гидромеханическая трансмиссия, позволяющая на бронеавтомобилях с колесной формулой  $8 \times 8$  за счет изменения разницы скоростей вращения колес на противоположных бортах уменьшить радиус поворота до 8–10 м, в отличие от прежних 25–30 м.

Имеются опытные образцы колесных машин с возможностью разворота на месте.

Одной из тенденций является применение гидропневматической подвески, обеспечивающей не только высокие параметры поддресоривания, но и возможность регулирования дорожного просвета и углов крена машины для достижения высокой проходимости. Помимо этого при высокой вероятности подрыва броневедомителя устанавливается максимальный просвет, а при загрузке в военно-транспортный самолет он уменьшается до минимума.

Активно ведутся опытно-конструкторские работы по совершенствованию автомобилей с гибридными (комбинированными) силовыми установками. Внедрение электродвигателей в ступицу каждого колеса и отсутствие прямой связи с двигателем позволят сохранить подвижность в случае выхода из строя одного из приводов (рисунок 4). Это дает возможность машине самостоятельно выйти из-под огня противника при подрыве на mine или поражении другими видами оружия.

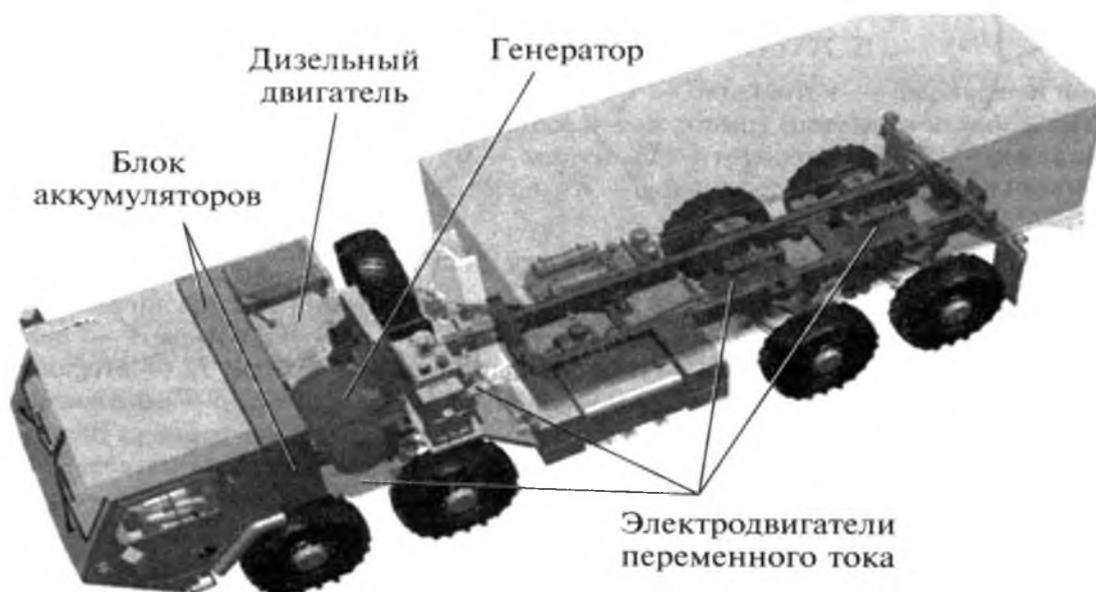


Рисунок 4. – Схема компоновки электромеханической трансмиссии автомобилей третьего поколения фирмы OSHKOSH

Для повышения живучести и эксплуатационной надежности броневедомителя широко применяются боестойкие шины [4]. Их диски оснащаются дополнительными внутренними ободами из композиционных материалов, что обеспечивает при повреждении или разрыве шины движение машины по пересеченной местности со скоростью 20 км/ч на расстояние не более 50 км (рисунки 5, 6).



Рисунок 5. – Вставка безопасности



Рисунок 6. – Пневматическая шина Michelin PAX с эластичной кольцевой вставкой

Перспективным направлением развития пулестойких шин являются непневматические шины (рисунок 7). В таких конструкциях пневматическая резинометаллическая оболочка заменена на конструкцию из полимерных материалов. Эти шины работают без создания внутри них избыточного давления, что делает их нечувствительными к проколу. Кроме того, шины подобной конструкции поглощают часть энергии при подрыве на взрывном устройстве. Одной из разновидностей непневматических шин являются шины NPT (Non-pneumatic tire). Шина имеет сотовую структуру и способна выполнять свои функции при разрушении своей структуры до 30 %. Также она не требует обслуживания на протяжении всего срока службы.

Однако недостатком непневматических шин является невозможность их использования на высоких скоростях из-за перегрева, повышенная шумность, меньшие демпфирующие свойства, а также невозможность изменения давления на грунт путем изменения давления в шине.



Рисунок 7. – Непневматическое колесо типа NPT

В настоящее время уделяется достаточное внимание снижению массы автомобиля при сохранении уровня защиты в целях повышения маневренности за счет разработки новых прочных легких материалов для бронирования.

Кроме того, в интересах снижения стоимости технического обслуживания и ремонта, потребности в запасных частях и сокращения времени на обучение личного состава ремонтных подразделений конструкторы ведут разработку семейств машин, имеющих до 90 % взаимозаменяемых узлов и агрегатов.

Помимо повышения живучести ВАТ ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по обеспечению недопущения вывода из строя водителей и экипажей. В этой области выдвинулось и быстрыми темпами развивается направление по созданию роботизированных машин с функцией искусственного интеллекта.

Таким образом, анализ показывает [1, 2, 3, 4], что применяемые сегодня и в будущем технические решения в армиях зарубежных стран, позволяющие обеспечить эффективную защиту автомобиля от различных видов оружия, повысить его живучесть, являются общими и могут быть разделены на несколько основных направлений:

*1) оптимизация компоновочных схем:*

применение модульных конструкций на базе унифицированного шасси в зависимости от решаемых задач;

уменьшение габаритных параметров автомобиля;

*2) внедрение средств усиления противоминной стойкости:*

применение регулируемого клиренса в совокупности с V-образным, с увеличенной стойкостью (многослойным) днищем;

применение бронированной капсулы;  
 применение различных панелей, поглощающих энергию взрыва;  
 применение сидений, не имеющих жесткой связи с полом;

*3) различные виды бронирования с использованием современных высокопрочных материалов:*

применение нетрадиционных броневых материалов;  
 применение сварного корпуса машины, состоящего из отдельных броневых листов различной толщины;  
 применение оптимальных углов наклона броневых листов;  
 применение дополнительного навесного бронирования с использованием различных экранов и противоккумулятивных решеток;  
 применение броневой защиты передней и боковых частей корпуса, усиленной керамическими плитками;  
 применение броневой защиты днища кузова, двигателя, трансмиссии, раздаточной коробки и топливного бака;  
 применение бронированных ветровых стекол;  
 применение бронированного моторного отсека, вынесенного за базу автомобиля;

*4) внедрение материалов и новых технологий, обеспечивающих скрытность:*

применение маскирующего окрашивания;  
 применение различных систем пуска дымовых (аэрозольных) завес;  
 снижения заметности в радио-, ИК- и оптическом диапазонах путем установки защитных экранов, защитных красок, специальных панелей и т. д.;  
 снижение шумности работы двигателя;  
 применение высокоэффективной системы охлаждения выпускных газов, компьютерного управления вентиляторами охлаждения и турбиной наддува;

*5) повышение подвижности автомобиля путем применения:*

гидромеханических и электромеханических трансмиссий;  
 гидропневматических подвесок;  
 более мощных двигателей с турбокомпрессорами с изменяемой геометрией и электронными блоками управления режимом работы двигателя;  
 противобуксовочных и антиблокировочных систем, систем управления межосевыми и межколесными дифференциалами;  
 гибридных силовых установок, электрических приводов колес, модернизированных систем автоматического регулирования давления воздуха в шинах, а также боестойких шин.

Необходимо отметить, что во многих странах в целях сохранения жизни водителей и экипажей выделено перспективное направление – разработка дистанционно управляемых машин, а также роботизированных машин с функцией искусственного интеллекта.

Таким образом, необходимость повышения живучести ВАТ обусловлена увеличением ее количества в войсках в качестве средства подвижности вооружения, что приблизило ВАТ к местам ведения активных боевых действий и повысило вероятность поражения оружием различных видов. Анализ технических решений по повышению живучести ВАТ, применяемых в армиях иностранных государств, показывает, что обеспечение эффективной защиты автомобиля от различных видов оружия и повышение его живучести проводится по следующим основным направлениям: оптимизация компоновочных схем ВАТ, внедрение средств усиления противоминной стойкости, применение различных видов бронирования с использованием современных высокопрочных материалов, повышение скрытности и подвижности ВАТ. Выделенные направления являются основными и общими для большинства армий передовых государств, занимающихся повышением живучести ВАТ.

## Список литературы

1. Кузнецов, Ю. Основные направления развития боевых колесных машин зарубежных стран / Ю. Кузнецов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2013. – № 4. – С. 46–51.
2. Васильев В. На службе армейской / В. Васильев // Техника и вооружение. – 2015. – № 12. – С. 16–21.
3. Разработка направлений повышения живучести военной автомобильной техники ВС РБ: отчет о НИР; шифр «Панцирь». – Минск, 2014.
4. Исследование проблем создания и конструктивных решений боестойких шин и шин повышенной ходимости для перспективных образцов военной автомобильной техники: отчет о НИР (заключ.); шифр «Пятихатец» / НИИТЦ. – Бронницы, 2009.

---

\*Сведения об авторах:

Банников Владимир Юрьевич;

Цыганков Виктор Николаевич;

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 27.01.2017 г.

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНШЕЙНО-КОТЛОВАННОЙ МАШИНЫ

А. Я. Котлобай; А. А. Котлобай, кандидат технических наук, доцент;  
М. М. Гришкевич; В. Ф. Тамело, кандидат военных наук, доцент; А. И. Герасимюк\*

*Статья посвящена обоснованию замены сложных и материалоемких механических систем приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины, установленного на доработанном шасси двойного назначения, перспективными гидравлическими приводами. Проведен анализ, оценка и определены наиболее приемлемые конструктивные решения предлагаемых гидравлических приводов.*

*The article is devoted to justifying replacement of complex and material-intensive mechanical systems of operating equipment drives of trench-excavating machine installed on a modified dual-chassis, by promising hydraulic actuators. Offered hydraulic actuators were analyzed assessed and the most appropriate constructive solutions were identified.*

В настоящее время одним из перспективных типов передач мощности от двигателя к рабочему оборудованию современных инженерных машин является объемный гидропривод рабочего оборудования. При реализации многомоторных приводов ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют должного внимания поиску новых принципов и развитию конструкций многопоточных насосных агрегатов, на базе освоенных в производстве однопоточных насосов, предпочитая выпуск материалоемких и дорогих многопоточных насосов.

Проанализируем материалоемкость насосного агрегата – основной составляющей системы отбора мощности на привод рабочего оборудования на примере известных производителей гидравлической аппаратуры. Основным параметром насосного агрегата является его рабочий объем, который во многом определяет его массу и размеры. Оценим материалоемкость насосного агрегата относительным параметром – удельной массой насосного агрегата (таблица 1):

$$m_{уд} = \frac{M_n}{q_n}, m_{уд.ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{уд.и},$$

где  $m_{уд}$  – удельная масса насосного агрегата, кг/м<sup>3</sup>;  $M_n$  – масса насосного агрегата без рабочей жидкости, кг;  $q_n$  – номинальный рабочий объем насосного агрегата, м<sup>3</sup>;  $i, n$  – номер и число анализируемых насосных агрегатов.

Таблица 1. – Материалоемкость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ							
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4		
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	10	16	32	50	100	250		
$M_n$ , кг	1,9	2,9	4,0	7,1	16,5	43,6		
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17		
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый							
	типа 210			типа 310				
	12	28	28	56	80	112	160	250
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	11,6	28,1	28,0	56,0	80,0	112,0	160,0	250,0
$M_n$ , кг	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26

Окончание таблицы 1

Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый						
	типа 207	типа 313					
	55	55	56	107	112	160	250
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8	55,0	56,0	107,0	112,0	160,0	250,0
$M_n, \text{ кг}$	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 416						
	028	071	090	0110	0125		
	28	71	90	110	125		
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	25	67	67	80	80		
$M_n, \text{ кг}$	0,89	0,94	0,74	0,73	0,64		
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный						
Параметр	на базе насосов типа 207			на базе насосов типа 313			
	223.20	223.25	321.224А	323.20	333.20		
	54,8+54,8	107+107	112+112	56+56	56+56+28		
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	162,0	320,0	280,0	90,0	100,0		
$M_n, \text{ кг}$	1,48	1,50	1,25	0,80	0,71		
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия A8VO						
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200		
$M_n, \text{ кг}$	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0		
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,75	0,56	0,54	0,52	0,45		
Параметр	Тандемы насосов типа 426						
	416.028+ +416.028	416.071+ 416.071	416.090+ 416.090	416.110+ 416.110	416.125+ 416.125		
	28+28	71+71	90+90	110+110	125+125		
$q_n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	50	134	134	160	160		
$M_n, \text{ кг}$	0,89	0,94	0,74	0,73	0,64		
$m_{уд} \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$							

Анализ результатов расчета материалоемкости насосных агрегатов (см. таблицу 1) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной массы. Так, удельная масса аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа НШ на 82 %. Удельная масса аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28 %, и аналогично удельная масса аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90 %, что свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру материалоемкости. Удельная масса насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 68 % (удельная масса приводов насосов 0,25). Разность значений удельной массы насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную массу систем регулирования и автоматики насоса. Удельная масса насосов регулируемых с наклонной шайбой типа 416 выше удельной массы насосов типа 313 на 67–89 %, что объясняется сложной системой управления насосом и наличием насоса подкачки для работы в закрытом контуре.

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования инженерных машин, имеют различные параметры удельной массы, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Удельная масса двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207,

выше удельной массы насоса однопоточного типа 207 на 156 % (удельная масса приводов насосов 0,86), и удельная масса этих насосов выше удельной массы насоса типа 313 на 281 %. Удельная масса многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 105 % (удельная масса приводов насосов 0,39). Анализ соотношения удельной массы насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOCH-Rexroth» серии A8VO и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная масса двухпоточных насосов серии A8VO выше удельной массы насосов типа 313 на 51 %.

Удельная масса насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 68 % (удельная масса приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты создавались в качестве альтернативы многопоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А.

Проанализируем связь материалоемкости насосного агрегата с рыночной стоимостью. За основу примем уровень цен насосных агрегатов (таблица 2), предлагаемых дилерской сетью производителей гидравлической аппаратуры России [1]. Оценим стоимость насосного агрегата удельной стоимостью:

$$c_{уд} = \frac{C_n}{q_n}, \quad c_{уд,ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{уд,i}$$

где  $c_{уд}$  – удельная стоимость насоса (насосного агрегата), RUB/м<sup>3</sup>;  $C_n$  – стоимость насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, RUB.

Таблица 2. – Стоимость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ					
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4
цена с НДС, RUB	860	1388	1428	3243	5001	26124
$c_{уд}, 10^{-6}$ RUB/м <sup>3</sup>	86,0	86,8	44,6	64,9	50,0	104,5
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313					
	55	56	107	112	160	250
цена с НДС, RUB	53808	53808	73455	73455	100064	142308
$c_{уд}, 10^{-6}$ RUB/м <sup>3</sup>	978,2	960,9	686,5	655,8	625,4	569,2
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 416					
	028	071	090	0110	0125	
цена с НДС, RUB	33051	62776	69030	71626	75520	
$c_{уд}, 10^{-6}$ RUB/м <sup>3</sup>	1180,4	884,2	767,0	651,1	604,2	
Параметр	Агрегат насосный многопоточный					
	333.3.55	УНА-4	333.4.107	УНА-1	УНА-5	
цена с НДС, RUB	159807	142225	253110	191962	200470	
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный					
	223.25			321.224А		
цена с НДС, RUB	195450			195450		

Анализ результатов расчета (см. таблицу 2) показывает, что усложнение конструктивной схемы насосного агрегата приводит к увеличению удельной стоимости. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной стоимости насоса типа НШ на 466 %. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 различна для насосов разного объема и превышает удельную стоимость насоса нерегулируемого типа 310 на 80,9 % (удельная стоимость системы управления и автоматики насоса составляет  $333,6 \cdot 10^{-6}$  RUB/м<sup>3</sup>).

Удельная стоимость насоса аксиально-поршневого регулируемого типа 416 выше удельной стоимости насоса регулируемого типа 313 на 9,6 %, при большей разности удельных масс насосов этих типов. Удельная стоимость двухпоточных насосов 223.25, 321.224А превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 40,8 % и удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 1,8 %.

Удельная стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 38,1 % (удельная стоимость системы приводов насосов составляет  $241,8 \cdot 10^{-6}$  RUB/м<sup>3</sup>). Удельная стоимость трехпоточных насосных агрегатов 333.3.55.100.220, УНА-4, 333.4.107.100.880 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 88,0 % (удельная стоимость системы приводов насосов составляет  $317,1 \cdot 10^{-6}$  RUB/м<sup>3</sup>), а также удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 36 %.

Поиск направлений снижения материалоемкости решается в рамках доработки каждой конкретной инженерной машины. На вооружении в частях инженерных войск широко используется полковая землеройная машина ПЗМ-2 (рисунок 1) [2]. По своим тактико-техническим характеристикам ПЗМ-2 соответствует современному уровню решения боевых задач.



Рисунок 1. – Траншейно-котлованная машина ПЗМ-2

Основными частями ПЗМ-2 являются базовая машина (легкий колесный тягач Т-155-01) и рабочее оборудование. В состав рабочего оборудования входят цепной рабочий орган, роторный метатель, тяговая лебедка, бульдозерное оборудование, дополнительная трансмиссия, гидравлическая, пневматическая и электрическая системы управления. Поддержание работоспособного состояния такой техники является сложной инженерной задачей из-за отсутствия запасных частей, производство которых прекращено. Финансовые ресурсы, обеспечивающие импорт военно-инженерной техники для механизации земляных работ, в бюджет Республики Беларусь не закладываются, поэтому модернизация ПЗМ-2 предполагает создание новой траншейно-котлованной машины на базе доработанного по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь трактора МоАЗ-49011 производства Могилевского автомобильного завода [3], оснащенного двигателем ЯМЗ-238Б мощностью 220 кВт.

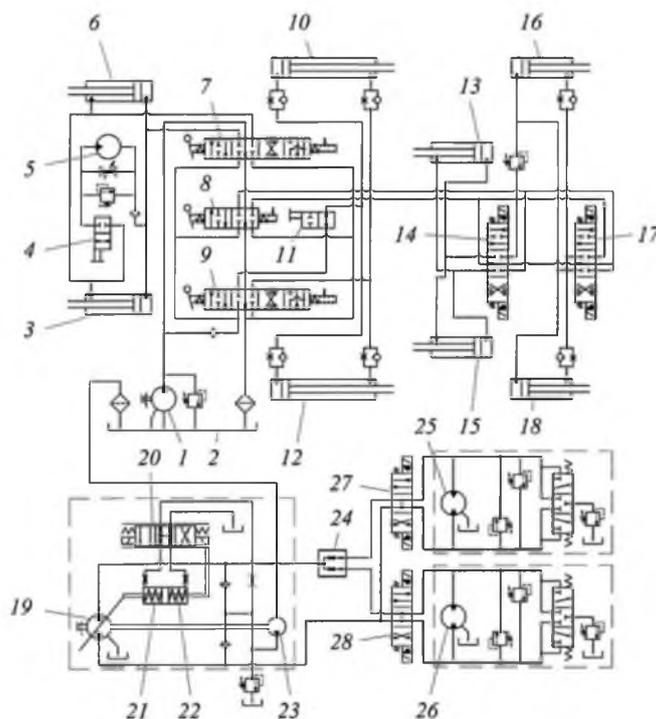
На современном этапе при модернизации рабочего оборудования ПЗМ-2 важнейшим направлением является замена сложных и материалоемких механических систем приводов рабочего оборудования гидравлическими приводами. Рациональным является отказ от применения материалоемкой распределительной коробки и использование гидравлического привода цепного рабочего органа и роторного метателя, что позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, повысит надежность рабочего оборудования, исключая поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки, упростит техническое обслуживание и ремонт траншейно-котлованной машины.

При использовании базового тягача МоАЗ-49011 к валу отбора мощности подключается насосная установка.

Гидросистема траншейно-котлованной машины может быть реализована в открытом [4] и закрытом [5] контурах. Для гидравлического привода цепного рабочего органа и роторного метателя траншейно-котлованной машины, установленного на доработанном шасси двойного назначения с ограниченными габаритными возможностями, актуален закрытый контур (рисунок 2), оснащенный системой охлаждения рабочей жидкости.

В рамках модернизации гидросистемы траншейно-котлованной машины [5] может быть предложена насосная установка, состоящая из регулируемого реверсируемого насоса 19 с наклонной шайбой серии 416 (416.0.110, 416.0.125), предназначенного для работы в закрытом контуре. Масса насоса 80 кг, потребляемая номинальная мощность соответственно 76,3 и 79,4 кВт. Следует учитывать ограниченные габаритные возможности базовой машины по размещению агрегатов систем привода рабочего оборудования. В этой связи исходим из того, что должны использоваться один насос и делитель потока, обеспечивающие привод цепного рабочего органа и метателя грунта.

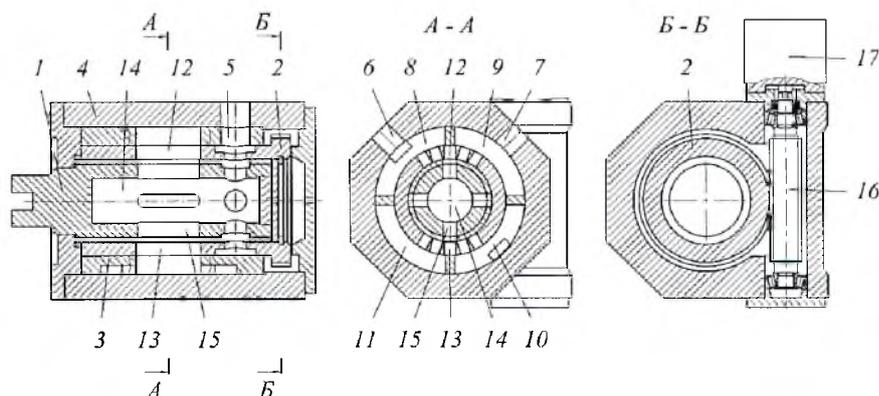
При работе траншейно-котлованной машины насосы 1, 19 и 23 включаются при неработающем двигателе. Гидрораспределитель 7 обеспечивает управление гидроцилиндрами 3, 6 позиционирования отвала бульдозера. Для отрывки траншей гидрораспределитель 20 переводится в первую либо третью позиции и рабочая жидкость насоса подпитки 23 подается в полости 21, 22 гидроцилиндра управления шайбой насоса 19. Рабочая жидкость насоса 19 поступает к делителю потока 24 [6], работающему в режиме деления потока, и подается к гидромоторам 25, 26 через гидрораспределители 27, 28. Рабочая жидкость, сливаемая из гидромоторов 25, 26 подается во всасывающую магистраль насоса 19. Утечки рабочей жидкости компенсируются насосом подпитки 23. При необходимости реверсирования цепного рабочего органа или при возникновении внештатной ситуации гидрораспределители 27, 28 переводятся в соответствующую позицию, таким образом обеспечивается реверсирование цепного рабочего органа либо метателя.



1, 19, 23 – насос; 2 – бак; 3, 6, 10, 12, 13, 15, 16, 18 – гидроцилиндр; 4, 11 – вентиль; 5, 25, 26 – гидромотор; 7, 8, 9, 14, 17, 20, 27, 28 – гидрораспределитель; 21, 22 – рабочая полость; 24 – делитель – сумматор потока

Рисунок 2. – Принципиальная схема гидропривода траншейно-котлованной машины.

Качание цепного рабочего органа при отрывке котлованов осуществляется гидроцилиндрами 13, 15, управляемыми гидрораспределителем 14. Конструктивно делитель потока [6] может быть реализован в виде отдельного агрегата, устанавливаемого на корпус насоса с приводом ротора от приводного вала насоса, на фланец насоса в качестве промежуточного агрегата между механизмом привода и насосом серийного исполнения, либо устанавливаться на корпусе насоса, приспособленного для тандемирования. Наряду с делителем потока, обеспечивающим заданные параметры потока по напорным магистралям гидромоторов привода цепного рабочего органа и метателя грунта, возможны конструктивные схемы [7, 8], обеспечивающие регулирование параметров потока рабочей жидкости по магистралям гидромоторов (рисунок 3).



1 – ротор; 2 – подвижная распределительная втулка; 3 – неподвижная распределительная втулка; 4 – корпус; 5, 6, 7 – канал корпуса; 8, 9, 10, 11 – сегментный паз; 12, 13, 14 – продольный канал; 15 – радиальный канал; 16 – червяк; 17 – автономный двигатель

Рисунок 3. – Конструктивная схема двухпоточного делителя потока с регулированием параметров потока рабочей жидкости по магистралям потребителей

Так, может быть рекомендован двухпоточный насосный моноагрегат в составе насоса с наклонной шайбой серии 416 (416.0.110, либо 416.0.125) массой 67 либо 80 кг и делителя потока разработанной конструктивной схемы [7, 8]. Экспертная оценка конструктивной схемы делителя потока показывает, что при его создании может быть использован технологический уровень производства шестеренных насосов. При этом материалоемкость делителя потока данного объема прогнозируется на уровне материалоемкости шестеренного насоса. При удельной массе насоса типа НШ –  $m_{уд.ср} 0,16 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup> (см. таблицу 1) масса делителя потока нерегулируемого для насоса 416.0.125 может составить 20 кг, а регулируемого – 25 кг. Соответственно, стоимость делителя потока составит 9100–11400 RUB. Суммарная масса двухпоточного насосного моноагрегата в составе одного насоса серии 416.0.125 и делителя потока составит 100–105 кг, а его стоимость – 84600–87000 RUB.

В основу алгоритма регулирования параметров распределения потока рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей (гидромоторов) положен способ дискретизации непрерывного потока рабочей жидкости, поступающей в полость продольного канала 14 ротора 1 через канал 5, дискретизации потока рабочей жидкости посредством каналов 15 ротора 1, продольных каналов 12, 13 подвижной распределительной втулки 2 и распределения дискретных объемов по полостям сегментных пазов 8, 9, 10, 11 и напорным магистралям потребителей, подключенным к каналам 6, 7. При повороте подвижной распределительной втулки 2 посредством червяка 16, приводимого автономным двигателем 17, меняется положение каналов 12, 13 относительно сегментных пазов 8, 9, 10, 11, определяющее эффективный объем насоса, подключенного в данную магистраль потребителей через каналы 6, 7 от нулевого до максимального значения, и параметры подачи рабочей жидкости в магистрали. В крайних положениях подвижной распределительной втулки 2 обеспечивается подключение в напорную магистраль потребителя насоса с эффективным объемом  $q$ , м<sup>3</sup>. Изменяя положение подвижной распределительной втулки

2 в диапазоне угла ( $0 \pm 45$ )°, добиваемся плавного изменения эффективного объема насоса, подключенного в данную магистраль от нулевого до максимального значения.

Таким образом, предложенные показатели оценки материалоемкости и удельной стоимости насосных агрегатов системы привода рабочего оборудования траншейно-котлованной инженерной машины позволяют анализировать рациональность принимаемых технических решений и определять среди них наиболее целесообразное. Определены направления снижения материалоемкости систем приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины. Одним из возможных направлений снижения материалоемкости гидравлической системы привода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины может быть использование двухпоточного насосного агрегата, состоящего из однопоточного аксиально-поршневого насоса, например типа 416, и делителя потока малой материалоемкости, имеющего ротор, связанный с валом насоса. В целом это позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, повысит его надежность, минимизирует поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки, а также упростит техническое обслуживание и ремонт траншейно-котлованной машины.

#### Список литературы

1. Мобильная и промышленная гидравлика: прайс-лист ООО «Компания Драйв» [Электронный ресурс]. – Екатеринбург. – Режим доступа: [drive@r66.ru](mailto:drive@r66.ru).
2. Машины инженерного вооружения: учеб. для курсантов воен. училищ инженер. войск / А. В. Ольшанский [и др.]; под ред. А. В. Ольшанского. – Ч. I. Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений и механизации земляных работ. – М.: Воениздат, 1986. – 422 с.
3. Развитие и модернизация белорусско-российской военной инженерной техники / А. Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2014. – № 4 (65). – С. 4–9.
4. Гидравлическая система землеройной машины: пат. 20084 С1 Респ. Беларусь, МПК *F 16H 61/38* (2006.01), *F 15B 21/00* (2006.01), *F 02F 5/00* (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, Ю. Ш. Юнусов, В. Ф. Тамело; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. – № а 20121389; заявл. 2012.10.03; опубл. 2016.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 2.
5. Гидравлическая система рабочего оборудования землеройной машины: пат. 9664 U Респ. Беларусь, МПК *F 16H 61/44* (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело, С. В. Григоренко; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № и 20130401; заявл. 2013.05.08; опубл. 2013.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5.
6. О перспективных направлениях создания гидравлических агрегатов приводов строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин [и др.] // Наука и техника. – 2012. – № 6. – С. 71–76.
7. Котлобай, А. Я. Совершенствование насосов гидропривода рабочего оборудования инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2016. – №3 (72). – С. 28–36.
8. Аксиально-поршневая гидромашинка: пат. 11211 U Респ. Беларусь, МПК *F 15B 11/22* (2006.01) / С. И. Воробьев, И. Ф. Чикун, Е. А. Есмантович, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай; заявитель С. И. Воробьев, И. Ф. Чикун, Е. А. Есмантович, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай. – № и 20160136; заявл. 2016.04.22; опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 5.

\*Сведения об авторах:

Гришкевич Михаил Михайлович,  
УО «Военная академия Республики Беларусь»;  
Тамело Владимир Федорович,  
Котлобай Анатолий Яковлевич,  
Котлобай Андрей Анатольевич,  
Герасимюк Александр Иванович,  
УО «Белорусский национальный технический университет».  
Статья поступила в редакцию 29.03.2017 г.

## ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОЙ ПЕДАГОГИКИ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ

---

УДК 358.43

### ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КУЛЬТУРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В АВИАЦИИ: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В. Н. Мелёхин, доцент\*

*В статье по представленным в печати историческим материалам, документам Международной организации гражданской авиации ИКАО, других организаций, исследующих проблемы авиационной аварийности, публикациям современных специалистов в области авиационной авариологии, материалам информационных выпусков проведен анализ взглядов на влияние культуры профессиональной деятельности в авиации, организационной (корпоративной) культуры на безопасность полетов, сформулированы выводы о неприемлемой культуре безопасности полетов как главной причине аварийности, предложены рекомендации по формированию позитивной культуры безопасности полетов.*

*The article, based on open-service historical data, ICAO papers, reports by organizations dealing with flight accidents, as well as, contemporary publications by aviation safety experts, presents the analysis of views on the influence of professional aviation culture and organizational (corporate) culture on flight safety, suggests the idea of unacceptable flight safety culture being the main reason for accidents, and gives recommendations on how to create positive flight safety culture.*

Аварийность сопровождает авиационную деятельность вот уже более века: от самого ее зарождения и до наших дней. Именно человеческий фактор, по мнению отечественных и зарубежных специалистов в области безопасности полетов, является главной причиной большинства аварий и катастроф [1]. Статистика свидетельствует, что «в военной авиации за период с момента окончания Великой Отечественной войны по 90-е гг. произошло около 3,5 тысяч авиационных происшествий, из которых более 1,5 тысяч (почти 43 %) произошло из-за неосознанного невыполнения или умышленного нарушения личным составом установленных норм и правил полетов» [2]. Приведенные выше цифры подтверждают актуальность проблемы, предложенной к осмыслению в данной статье.

Термин «культура» взят из латинского языка и издавна употреблялся для обозначения совокупности достижений человечества в производственном, общественном и умственном отношении. Известный русский философ Н. А. Бердяев считал, что «в наше время нет темы более острой для познания и для жизни, чем тема о культуре и цивилизации, об их различии и взаимоотношении. Это тема об ожидающей нас судьбе» [3]. Множество определений феномена культуры свидетельствует о разносторонности подходов к ее рассмотрению, о многомерности ее проявлений. Составляющими элементами культуры являются правила и нормы, которые регулируют поведение людей в соответствии с определенными ценностями. Кроме ценностей, в культуре усматриваются такие ее элементы, как понятия или концепты, отношения и правила [3]. Профессиональные культуры организаций определяют границы приемлемого поведения человека на рабочем месте путем установления поведенческих норм и пределов. В свою очередь, культура безопасности профессиональной деятельности является естественным продуктом профессиональной культуры организации и включает в себя совместно разделяемые убеждения, отношение к делу.

Надо сказать, что в авиации вопросам взаимосвязи профессиональной культуры и культуры безопасности профессиональной деятельности придавалось большое значение на всем протяжении более чем столетнего периода ее существования. Уже с первых дней строительства Военного воздушного флота России в середине 1880-х гг. проблемы высокой

аварийности летательных аппаратов приобрели особое значение, и руководство Учебного воздухоплавательного парка разработало один из первых официальных документов, содержащих в себе основные требования по снижению степени риска катастроф, происходящих из-за человеческого фактора [4]. В период, непосредственно предшествовавший Великой Отечественной войне, был принят ряд ныне доступных для ретроспективно-компаративного анализа документов, из которых следует, что тогда культурно мотивированные причины аварийности в военной авиации часто оставались за пределами внимания. Причинами аварий и катастроф вследствие влияния человеческого фактора считались, как правило, низкая дисциплина и слабая теоретическая подготовка летного состава, а меры по их предотвращению носили в основном жесткий административный характер. При этом отмечалось, что причины аварийности в военной авиации связаны с «уровнем специальных познаний, подготовленности, специфическими способностями и качествами летчиков» [5]. Так, в приказе Наркома обороны СССР «О мерах по предотвращению аварийности в частях Военно-воздушных сил РККА» от 4 июня 1939 года было установлено, что «число летных происшествий в 1939 году, особенно в апреле и мае, достигло чрезвычайных размеров. За период с 1 января по 15 мая произошло 34 катастрофы, в них погибло 70 человек личного состава. За этот же период произошло 126 аварий, в которых разбит 91 самолет». Отмечалось, что эти тяжелые потери, как и подавляющее большинство других катастроф и аварий, являются прямым результатом нарушения летных наставлений и инструкций, недисциплинированности летчиков, а также «...неумения наладить летно-техническую подготовку с каждым экипажем и летчиком в отдельности в соответствии с уровнем их специальных познаний, подготовленности, индивидуальными и специфическими их способностями и качествами». В целях поднятия воинской дисциплины в частях ВВС определялось «ввести со всем летно-техническим составом строевые занятия по два часа два раза в шестидневку» [5]. Конечно, подход к решению проблем авиации в воздухе строевизацией на земле наивен, но уже тогда просматривалась прямая связь аварийности с воинской дисциплиной.

Установки на снижение рисков в авиации в связи с повышением культуры безопасности полетов прослеживаются и в современных подходах к решению проблемы авиационной аварийности. Так, Международная организация гражданской авиации ИКАО действенную культуру безопасности связывает «с активным поиском улучшений, бдительным отношением к опасным факторам и использованием систем и инструментов для непрерывного мониторинга, анализа и проведения расследований». Другими характеристиками действенной культуры безопасности определены «личная ответственность за безопасность полетов каждого члена коллектива и руководства организации, уверенность в системе безопасности, а также документально оформленный свод правил и процедур в области безопасности полетов» [6]. Кроме того, ИКАО обозначает влияние национальной, профессиональной и организационной культуры на безопасность полетов [6]. Все эти уровни культуры имеют отношение к мерам по управлению безопасностью, поскольку все три уровня являются детерминантами деятельности организации (рисунок 1).

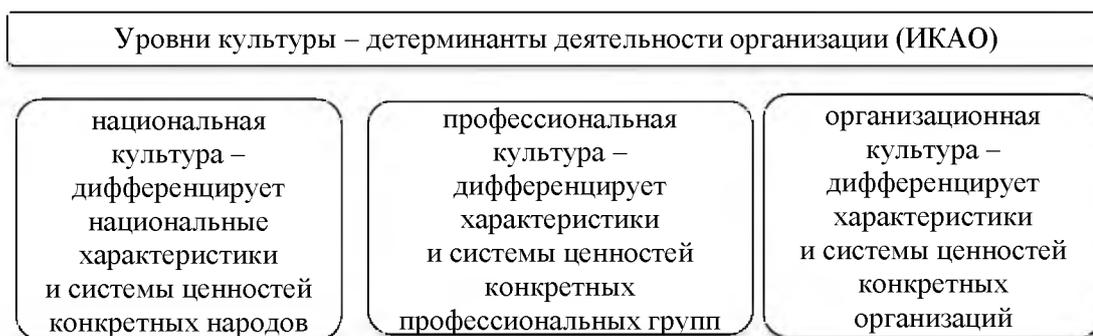


Рисунок 1. – Уровни культуры – детерминанты деятельности организации, имеющие отношение к мерам по управлению безопасностью полетов (ИКАО)

Согласно подходам ИКАО, наибольшее поле деятельности для развития эффективной культуры управления безопасностью полетов находится на организационном уровне. Считается, что «организация является одним из главных детерминантов поведения индивидуумов в процессе управленческой или производственной деятельности» в авиации [6]. Причем именно организационная культура обозначает границы приемлемой деятельности на рабочем месте авиационного специалиста, устанавливая нормы и ограничения, именно она является краеугольным камнем для принятия решений руководством и сотрудниками. Это атмосфера, создаваемая старшим руководством, которое формирует отношение сотрудников, помимо прочего, к практике обеспечения безопасности. Культура безопасности не сможет быть эффективной, если не встроена в собственную культуру организации» [6].

Для эффективной практики обеспечения безаварийной авиационной деятельности важнейшее значение имеет соблюдение положений нормативных документов по безопасности полетов, но еще больше для этого требуется проявлять современное мышление. В документах ИКАО определяется, что организации, которые просто соблюдают минимальные, установленные в нормативных правилах стандарты, не способны эффективно выявлять проблемы безопасности полетов. Предлагается классифицировать организации на три категории «в зависимости от того, как они реагируют на информацию о факторах опасности и управляют информацией по вопросам безопасности полетов: патологическая – скрыть информацию; бюрократическая – не давать ход информации; генеративная – ценить информацию» [6]. Именно в генеративных организациях, где принято ценить информацию об опасных факторах авиационной деятельности, наряду с термином «культура безопасности» используется и термин «справедливая культура организации».

Проблемы культуры безопасности полетов находят свое отражение в деятельности и других организаций. Так, в документе «Концептуальные рамки культуры безопасности», разработанном рабочей группой по системе управления безопасностью полетов и культуре безопасности **РГ-СУБП ECAST**, определено, что «культура безопасности – это жизненная позиция, выражаемая в отношении к безопасности как к непреходящей ценности, разделяемая каждым в авиационной организации на всех ее уровнях» [7] (рисунок 2).

Проблемы культуры безопасности в авиации находятся в центре внимания и Международной группы по управлению безопасностью полетов **SM ICG**. Целью ее работы является содействие одинаковому пониманию принципов и требований системы управления безопасностью полетов и государственной программы безопасности полетов, что облегчало бы их применение международным авиационным сообществом. Предполагается, что эффективная система управления безопасностью полетов обеспечивает много потенциальных преимуществ, включая формирование позитивной культуры безопасности, а сама система управления безопасностью полетов должна быть вплетена в структуру организации, стать частью культуры организации, способом выполнения должностных обязанностей. Считается, что культура безопасности характеризуется тем, как принимаются управленческие решения, какие стимулы и препятствия для обеспечения безопасности существуют в организации. Отмечается, что часто существует пропасть между представлениями высшего руководства о культуре безопасности организации и тем, что происходит в действительности.

Группа Федеральной авиационной администрации США (**FAA**) работает над повышением уровня безопасности полетов с 2006 года. Ее действия, как отмечается в программных документах, нацелены «на снижение аварийности авиации общего назначения за счет повышения культуры авиационного сообщества путем обучения и тренировок» [8]. В работе группы участвуют 120 сотрудников и примерно 300 добровольцев по всей стране.

В Российской Федерации сохранение сложившейся в авиации **ВС** системы обеспечения безопасности полетов не позволяет эффективно влиять на дальнейшее устойчивое и непрерывное снижение аварийности. Так, за трехлетний период (2003–2005 гг.)

боевого применения армейской авиации Российской Федерации в контртеррористической операции на территории Чеченской Республики боевые потери (т. е. связанные с огневым воздействием противника) составили всего 16 % от общих потерь. И одной из причин также выделен низкий уровень культуры безопасности полетов [9].

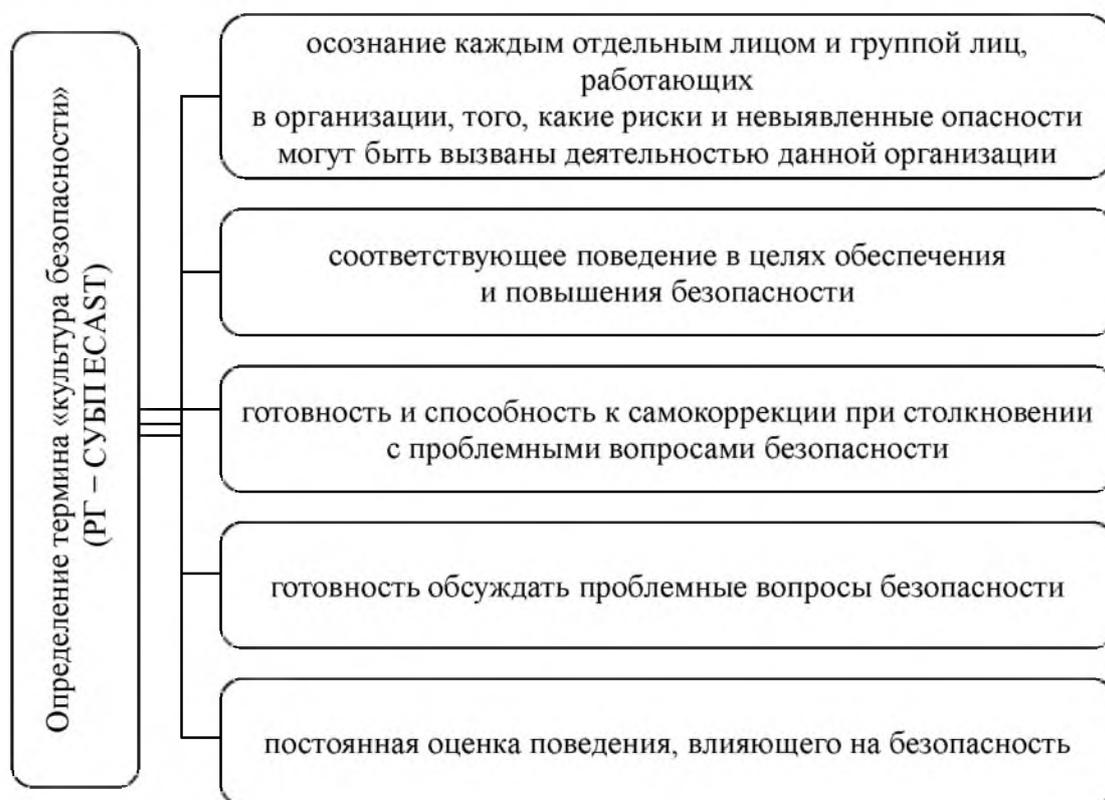


Рисунок 2. – Определение и составляющие термина «Культура безопасности полетов» (РГ-СУБП ЕСАСТ)

В конце 2013 года в Республике Беларусь введена в действие Концепция обеспечения безопасности полетов государственной авиации Республики Беларусь (далее – Концепция). Появление такого документа, как показывает анализ текущего положения дел с авиационной аварийностью, актуально и своевременно. Ранее, в 1990-е годы, в военной авиации использовали Руководство по предотвращению летных происшествий (РПЛП-90), в структуре которого была представлена и Концепция обеспечения безопасности полетов того периода. Теперь она обрела новое звучание в представленном выше документе.

Что же принципиально нового в Концепции? Основная мысль (по мнению автора), заложенная в этом документе, – указание на первопричинность и прямую связь авиационных происшествий и инцидентов с уровнем профессиональной культуры и ее производной – культурой безопасности полетов, которая, в свою очередь, должна формироваться на основе всех достижений авиационной науки и практики. В Концепции культуру безопасности полетов предложено понимать как «квалификационную и психологическую подготовленность авиационного персонала, при которой обеспечение безопасности полетов является внутренней потребностью, приводящей к осознанию ответственности при организации, выполнении, управлении и обеспечении полетов. В упрощенном виде это означает, что весь персонал должен быть ответственным за свои действия и учитывать их возможные последствия для безопасности полетов. Такой образ мышления должен настолько глубоко укорениться, чтобы он действительно превратился в «культуру».

В документе также определено, что одним из основных направлений работы по обеспечению безопасности полетов является создание теоретических основ организации работы по предотвращению авиационных происшествий в государственной авиации

Республики Беларусь. Для достижения этих целей необходимо руководствоваться принципами, одним из которых является «научность, предполагающая глубокие и прочные знания законов и закономерностей возникновения, развития и парирования особых ситуаций в полете, применение научно обоснованных средств и способов решения задач обеспечения безопасности полетов. Это, в свою очередь, предполагает активное использование в работе по предотвращению авиационных происшествий достижений авиационной психологии, педагогики и методики летного обучения [10]. Авиационная педагогика с ее дидактическим инструментарием «способна превратить тренажеры, стенды, компьютеры в инструмент познавательной активности, <...> создать основы подготовки к действиям в нестандартных ситуациях путем мысленного превращения неожиданного в ожидаемое, незнакомого – в знакомое, а стало быть, – и преодолимое. Профессиональная надежность обеспечивается союзом педагогов, психологов с методистами, инструкторами, мастерами обучения» [11].

Такое видение культуры безопасности полетов в авиации поддержано на практике: в 2013 году введена в действие Инструкция по психологическому сопровождению авиационной деятельности в ВВС и войсках ПВО, которая определяет порядок организации, проведения и основные направления психологического сопровождения авиационной деятельности в военной авиации, в организационно-штатные структуры воинских частей введены должности авиационных психологов.

Это важные для практической авиационной деятельности (а к ней относится и деятельность авиационного факультета ВА РБ в целом и в первую очередь летная подготовка) утверждения.

Причин возникновения особых ситуаций в полете может быть несколько, но среди них практически всегда можно выделить *главную, непосредственную и сопутствующие* авиационному событию причины. Между всеми причинами имеются определенные взаимосвязи. Главной причиной какого-либо события в полете следует определять тот фактор, устранение которого делает принципиально невозможным возникновение особой ситуации в полете (рисунок 3). Если непосредственная причина авиационного события, иногда некорректно трактуемая как вина, связывается, как правило, с действиями экипажа в кабине воздушного судна – на острие авиационной системы, то главная причина часто находится на организационном уровне. Без установления главной причины ошибки, скрывающейся, как правило, в изъянах элементов авиационной системы, находящихся на земле, обвинение летчика в совершении ошибки безнравственно. Но по итогам расследования аварий и катастроф, других менее тяжелых последствий авиационных событий в современной авиации главная причина называется нечасто, тогда как практически всегда ее можно (по совокупности сопутствующих авиационному событию непосредственных и сопутствующих причин) сформулировать как недостаточно высокую культуру безопасности полетов конкретной авиационной организации. Этот уровень культуры формируется командирами (начальниками) – лидерами авиационных систем.

И здесь актуально наблюдение Международной группы по управлению безопасностью полетов (SM ICG): по сложившейся традиции, к ответственности за несоблюдение установленных требований привлекают рядовой персонал или руководителей среднего звена, что часто несправедливо и/или непродуктивно, поскольку они не располагают ресурсами и/или полномочиями для осуществления необходимых изменений. Выводы очевидны.

Говоря непосредственно о человеке на острие авиационной системы – о летчике (экипаже), необходимо учитывать, что даже самый высокий уровень его знаний, умений и навыков – это уровень **специалиста**, надежного только в штатных полетных ситуациях. Надежность в особой ситуации, т. е. в полетной ситуации, когда на авиационную подсистему «экипаж – воздушное судно» действуют опасные факторы, формируется и обеспечивается гораздо более высоким уровнем – уровнем **профессионала**. Есть надежная техника, есть здоровый работоспособный экипаж, но есть такие «условия, когда летчику приходится

ломать свои навыки, а иногда и это бесполезно, так как требования реагирования выходят за рамки его психофизиологических возможностей» [11].

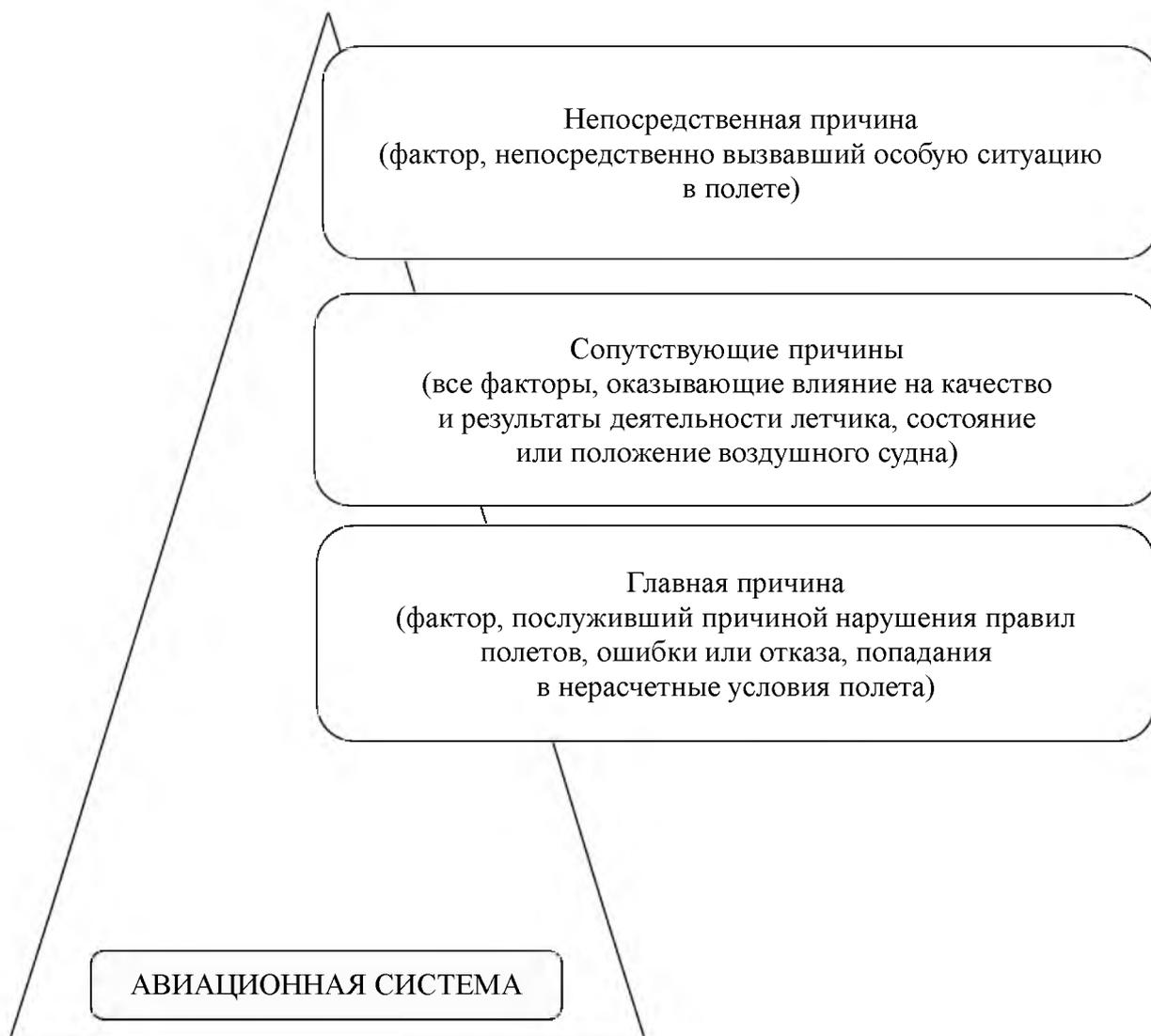


Рисунок 3. – Иерархия причин возникновения и развития особых ситуаций в авиационной системе

По мнению академика В. А. Пономаренко, «профессиональная культура летчика – это потребность в постоянном росте знаний и совершенствовании умений для творческого обогащения своей личности и повышения летного мастерства в целях достижения наивысших результатов профессиональной деятельности, удовлетворяющих его духовные и социальные запросы, отвечающие нравственным принципам общества и интересам авиационного коллектива» [11]. Надежность летчика в полете определяется, прежде всего, степенью развитости интеллекта, самостоятельностью, характером, культурой. Ведь «здоровый, профессионально подготовленный, культурный летчик может и на не совсем надежной технике успешно выполнить свои задачи, а духовно сломленный, обремененный бытом, нездоровый и неряшливый летчик не выполнит задачи и на сверхнадежной технике. Бескультурный летчик хуже, чем больной, и опаснее, чем враг», – отмечает В. А. Пономаренко [12]. Подготовить, точнее, сформировать такого **пилота-профессионала** можно только в высококультурной профессиональной среде, в авиационных системах с осознанием необходимости высокого уровня профессиональной культуры как основы культуры безопасности полетов.

Таким образом, по результатам проведенного в статье анализа можно сделать следующие выводы:

1. Культура профессиональной деятельности – универсальная система, включающая знания и ценности, которые в виде образцов и норм, принятых в конкретной специализированной среде, регулируют профессиональную деятельность во всех проявлениях.

2. Элементами культуры являются правила и нормы, которые регулируют поведение людей в соответствии с ценностями данной культуры. Профессиональная культура организации определяет границы приемлемого поведения человека на рабочем месте путем установления поведенческих норм и пределов. Культура безопасности полетов – естественный продукт профессиональной культуры организации. Она состоит из совместно разделяемых убеждений, практики и отношения к делу в ходе авиационной деятельности.

3. Высокая культура безопасности полетов формируется лидерами авиационных систем – командирами и начальниками. Отсюда вытекает необходимость высоких требований к подготовке кадров для государственной авиации. При назначении на командную должность и здесь должен реализовываться принцип полного соответствия претендента данной должности руководителя как лидера, являющегося носителем высокой профессиональной культуры и способного сформировать высокую культуру безопасности полетов в своей авиационной системе.

4. Для повышения безопасности летного труда в государственной авиации важна полная реализация положений Концепции обеспечения безопасности полетов государственной авиации Республики Беларусь. В этом документе выделена первопричинность и прямая связь авиационных происшествий и инцидентов с уровнем профессиональной культуры и ее производной – культурой безопасности полетов, сформированной на основе достижений авиационной науки и практики.

5. Профессиональная деятельность в авиации в целом (и в частности, на авиационном факультете ВА РБ) должна опираться не только на конкретные знания, умения и навыки, что присуще уровню специалиста, но и на более широкие представления о социальном мире и человеке, позволяющие видеть свои действия в перспективе, прогнозировать их последствия в первую очередь в аспекте обеспечения безопасности летного труда.

#### Список литературы

1. Человеческий фактор: психофизиологические причины ошибочных действий летчика и их профилактика: метод. пособие / В. В. Козлов [и др.]. – М.: НИИЦ ГНИИ воен. медицины МО РФ, 2002. – 80 с.

2. Методическое пособие по предотвращению авиационных происшествий: утв. начальником службы безопасности полетов авиации Вооруж. сил Рос. Федерации. – М.: Воениздат, 1999.

3. Головашин, В. А. Очерки истории мировой культуры (культурология): учеб. пособие / В. А. Головашин. – Тамбов: ТГТУ, 2002.

4. Лашков, А. Из истории обеспечения безопасности полетов в России / А. Лашков // Вестн. воздушн. флота. – 2007. – № 11. – С. 16–17.

5. Русский архив: Великая Отечественная: приказы Народн. комиссара обороны СССР. – М.: ТЕРРА, 1994. – Т. 13 (2–1). – 368 с.

6. Руководство по управлению безопасностью полетов [Электронный ресурс] // ИКАО. – Режим доступа: [http://scac.ru/uploads/Doc\\_9859\\_3](http://scac.ru/uploads/Doc_9859_3). – Дата доступа: 21.07.2015.

7. Пиерс, М. Концептуальные рамки культуры безопасности для РГ-СУБП ECAST [Электронный ресурс] / М. Пиерс, К. Монтин, А. Балк // Рабочая группа по системе управления безопасностью полетов и культуре безопасности (РГ-СУБП). – Режим доступа: <http://group-global.org/files/publication/ID=1233648>. – Дата доступа: 24.07.2015.

8. Безопасность полетов в России и за рубежом / Ежемесяч. информац. вып. № 9 (38) // ФГУП Авиапромсервис. – 2011. – № 9 (38).

9. Алешин, А. В. Пути развития системы безопасности полетов авиации ВС РФ: тез. докладов / А. В. Алешин // Академ. жуковские чтения ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2013.

10. Дмитрук, И. П. Педагогический аспект обеспечения безопасности летного обучения курсантов авиационного факультета / И. П. Дмитрук, В. Н. Мелехин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 3 (44). – С. 194–198.

11. Пономаренко, В. А. Страна Авиация – черное и белое / В. А. Пономаренко. – М.: Наука, 1995. – 287 с.

12. Пономаренко, В. А. Нравственное небо / В. А. Пономаренко. – М.: МНАПЧАК, 2010. – 535 с.

---

\*Сведения об авторе:

Мелёхин Владимир Николаевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.04.2017 г.

## **РАЗВИТИЕ ВОЕННЫХ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ**

А. Г. Тицкий, кандидат психологических наук\*

*В статье обобщены и обоснованы основные актуальные проблемы и направления развития военных психолого-педагогических исследований, необходимые для учета в научно-исследовательской и психолого-педагогической деятельности и руководства ею в военном вузе.*

*The article summarizes and substantiates the main actual problems and trends in the development of military psychological and pedagogical research, which can be used for accounting and guidance in research and pedagogical activity in a military higher educational institution*

Развитие педагогической и психологической науки в современной складывающейся обстановке предполагает выработку новых подходов и определение на их основе стратегических направлений деятельности военных ученых, педагогов и психологов. Это обусловлено изменениями, которые произошли в технологической, социокультурной, информационно-коммуникативной сферах, в сфере ведения вооруженной борьбы и многих других. В связи с мощным воздействием средств массовой информации, расширением контактов человек по-новому воспринимает и понимает мир, в котором он и сам изменяется.

Сегодня мы наблюдаем тенденцию отхода от строгих правил ведения войны и размывания четкой грани между войной и миром. В современных войнах активными участниками становятся все слои населения, а на первом месте в подготовке страны к обороне – развитие в обществе патриотизма, моральная и психологическая подготовка населения и войск к защите Отечества [1]. Данное обстоятельство не только повышает ответственность военных психологов и педагогов, но и настоятельно требует разработки новых теоретических концепций, расширения исследований, выявляющих закономерности психологического, социального, личностного развития человека в ходе состоявшегося выхода его в открытое всемирное информационное пространство, в том числе и через Интернет, что изменяет характер и общения, и деятельности, и сознания, а также всю структуру педагогического взаимодействия.

Вполне закономерно, что в обеспечении как военной, так и национальной безопасности в целом ключевую роль играет офицерский корпус. Работа с офицером (будущим офицером) продолжается и в военном вузе (где вся система подготовки должна соответствовать реализации принципа «учить войска тому, что необходимо на войне»), и в последующем в процессе всей службы в целях укрепления и развития профессионально-значимых качеств личности офицера [1].

Возникла насущная потребность решения задачи системной организации целенаправленного научного поиска по ряду новых приоритетных направлений развития военных психолого-педагогических исследований. Рассмотрим некоторые из них.

Одно из основных направлений заключается в специальном изучении коллективного, распределенного сознания, обобщенного интеллекта, ставшего результатом того, что благодаря появлению и постоянному расширению использования сети Интернет и обучающиеся, и педагоги могут получать новые знания одновременно. Однако у них разная скорость их приобретения, разное восприятие, разная реакция.

Современный информационный взрыв существенно изменил систему отношений и общения, в том числе и организацию образовательного процесса. Известно, что сегодня весь материал, специально подаваемый обучающемуся (от учебных дисциплин до нравственных установок), как бы широк он ни был, находится в одном русле со значительно

большим потоком свободной информации, поступающей из Интернета, средств массовой информации, разнопланового общения со сверстниками и старшим поколением. Эта неотсортированная информация (не управляемая, не ранжируемая) оказывает неоднозначное, порой, даже отрицательное воздействие на характер развития молодых людей.

Между тем у нас все еще доминирует греческая модель обучения, суть которой – передача знаний от преподавателя обучающимся, сидящим напротив этого преподавателя, модель, дополненная в эпоху просвещения учебной книгой [2, с. 36]. Кроме того, у большинства преподавателей военных вузов сформировалась определенная система мышления, связанная в основном с четко организованной информацией, полученной через утвержденные программы, рекомендованные книги. Информация же, поступающая в настоящее время через телевидение и другие источники, накладывается на уже сформировавшуюся у педагога устойчивую систему знаний и взглядов. Что касается обучающихся военных вузов, то они попадают в своего рода «ножницы», когда знания, получаемые от преподавателя, из учебника, пересекаются с потоком хаотичной информации, идущей прежде всего из средств массовой информации. Причем эта информация, не имеющая структурно-содержательной логической связи, подаваемая хаотично, не только не вписывается в рамки стационарного образования, но и представляет собой качественно иной тип, где, в частности, принципиально меняется сочетание зрительного и слухового восприятия [2].

Совершенно ясно, что мы имеем дело с объективным процессом, воздействие которого будет нарастать. Поэтому исследования военных педагогов и психологов должны быть направлены на то, чтобы, с одной стороны, определить психологические условия сочетания существующего негативного информационного давления и организованной системы образования обучающихся военных вузов, а с другой – осуществить поиск психологических оснований процесса обучения в современных условиях, требующих раскрытия возможностей выработки у курсантов и слушателей избирательного отношения к информации, умения ее ранжировать в процессе самостоятельного присвоения знаний. Необходимо также наработать теоретически обоснованные и экспериментально проверенные рекомендации: каким образом, где и до каких пределов должна осуществляться компьютеризация обучения, чтобы работа обучающихся с компьютером не снижала инициативности их мысли и одновременно не уводила от реального мира, способствуя более интенсивному развитию качеств активных субъектов познания, труда и общения.

Следующим по порядку, но важнейшим по сути выступает направление дальнейшего (непрерывного) изучения и совершенствования условий и механизмов формирования ценностной базы будущих выпускников военных вузов, их нравственных установок и достойных офицерского звания ориентаций при одновременном выявлении условий и путей нивелирования квазипотребностей и квазиинтересов. В этом направлении военным педагогам и психологам необходимо продолжать работу по разработке и совершенствованию теоретических, экспериментально-эмпирических основ воинского воспитания, постоянно противопоставляя их и выводимые из них технологии тем сторонам настоящей действительности, которые негативно влияют на молодых людей, обедняя их нравственность, нанося ущерб духовности. Данное направление является особенно актуальным в современных условиях. Сегодня сущность войны – это продолжение политики средствами духовного, политического, экономического и других видов подавления и уничтожения противника, где вооруженная борьба не всегда имеет определяющее, первостепенное значение, а может быть даже исключена вообще [1]. В связи с этим главная задача образовательного процесса всех вузов, и в особенности военных, формирование шкалы жизненных ценностей молодого поколения в сторону укрепления патриотизма и традиционных нравственных ценностей. Целесообразно вспомнить фразу, за столетие не потерявшую своей актуальности и в наши дни: «Хороший гражданин может оказаться

плохим офицером (без соответствующей специальной подготовки), в том нет ничего удивительного; но горе той стране, где офицеры – плохие граждане...» [3, с. 155].

По мнению Д. И. Фельдштейна, важным направлением является также определение специфики личности и деятельности современного педагога высшей школы, процессуальных особенностей его развития. И хотя имеется немало работ, посвященных выявлению путей формирования готовности к профессии педагога, к сожалению, значительно меньше исследованы возможности и критерии достижения педагогической зрелости военного преподавателя. Здесь необходим дифференцированный подход, связанный как с установлением возрастных, половых и иных различий, так и со сложным сочетанием перспективных новаций в системе военного образования [2].

Еще одним важным направлением сегодня является изучение особенностей влияния социальных, культурологических факторов, того психологического климата, который создается сегодняшней растущей информационной действительностью, на когнитивную и мотивационную сферы личности. При этом необходимо определить, в какой степени сохранились базовые личностные установки, психические новообразования, присущие возрасту призывников, абитуриентов, а также как соотносятся устойчивые характеристики определенного возраста с теми особенностями, которые приобретаются в современной конкретно-исторической ситуации, являются ли новоприобретения структурообразующими в личностном развитии или лишь фиксируют процессы временного порядка.

В отечественной и зарубежной научной литературе существует большое количество работ, посвященных исследованию психолого-педагогических предпосылок эффективности учебной деятельности, в том числе в связи с дифференциацией обучения и его личностно-ориентированной концепцией. Парадигма ментального опыта, предложенная современной когнитивной психологией, позволяет расширить наши представления об интеллектуальной деятельности, унифицировать стратегии познания и обучения. В результате в педагогической психологии возросла актуальность еще одного направления исследований, в частности, изучения проблемы стилевой направленности психолого-педагогических воздействий и учебных программ на эффективность усвоения знаний обучающимися с соответствующими и альтернативными познавательными стилями [4, 5].

Внимание к личности обучающегося требует учета его индивидуально-своеобразных особенностей переработки и усвоения информации (познавательные стили). Однако при возрастающем количестве исследований, посвященных названной выше проблематике (Р. Гарднер [6], В. А. Колга [7], Б. Лу Ливер [8], А. П. Лобанов [9], Г. Уиткин [10], М. А. Холодная [11], И. П. Шкуратова [12] и др.), экспериментальные данные об участии индивидуально-своеобразных особенностей переработки и усвоения информации в ходе контроля знаний ограничены.

По мнению Б. Лу Ливер, многие формы контроля часто дают неверное представление о том, что в действительности знает и умеет делать обучающийся. Мнение о том, что какая-либо одна форма контроля (например, тестовая) объективна именно ввиду своего единообразия, с точки зрения стилевого подхода представляется не только иллюзорной, но и чреватой серьезными ошибками в оценке реальных возможностей учащихся, так как при этом создаются преимущества для учащихся с определенным складом ума и, соответственно, неблагоприятные условия для учащихся с иными, не предусмотренными данной формой контроля, стилевыми характеристиками [8].

Одним из направлений выступают также исследования в сфере акмеологии, в основе которых лежит феномен акме (состояние подъема, вершины проявления развития человека как личности, профессионала и гражданина-патриота), направленные на выявление структуры, характера, специфики выражения и условий оптимизации такого свойственного только человеку явления, как потребность и возможность самовыражения, заключающаяся в способности быть действенным субъектом, творческие усилия которого принимаются обществом и необходимы ему [2].

Все чаще и чаще различные военные ученые и исследователи отмечают в своих работах возрастание роли психического фактора и психологической подготовки военнослужащих в эффективности ведения боевых действий [13].

Многие авторы считают, что сама по себе ситуация вооруженного противостояния является противоестественной природе человека, поэтому оказавшимся в таких условиях людям приходится вступать в противоречие с самой природой. Данное противоестественное состояние в наибольшей степени сказывается на психике как на универсальном инструменте, регулирующем отношения человека с окружающей средой.

Обратившись к исследованиям проблемы психологической готовности к боевым действиям, а также воздействия стресс-факторов боевой обстановки на психику военнослужащих, мы обнаружили, что в нашей стране этой проблеме уделяется недостаточное внимание. Вопросы психологической подготовки, психологической готовности, боевого стресса и психологического обеспечения боевых действий необходимо было разрабатывать «еще вчера». Недостаточная разработанность данной проблемы сказывается не только на взглядах на природу обозначенных явлений, но и на содержании системы психологического обеспечения боевых действий. Но и сегодня этим заняться еще не поздно. Отдельные аспекты этих вопросов находят свое отражение в работах отечественных психологов в области кризисной психологии (травматический стресс и посттравматическое стрессовое расстройство), военной психологии (готовность к действиям в экстремальных условиях) [14].

В данном направлении военным ученым, педагогам и психологам необходимо проводить работу по организации теоретических, экспериментально-эмпирических исследований таких понятий и явлений, как нервно-психическая неустойчивость, эмоционально-волевая устойчивость, психологическая готовность, психологическая подготовка и пр., а также их операционализации и систематизации в структуре военно-психологического знания. Отдельным поднаправлением выступает решение проблемы обучения будущих офицеров организации психологической подготовки в ходе образовательного процесса в военном вузе.

Конечно, круг актуальных военных психолого-педагогических проблем не ограничивается названными выше направлениями, он значительно шире. В настоящее время перед военными учеными, педагогами и психологами открывается многомерное пространство новых задач, новых направлений, требующих и глубокого теоретического осмысления, и существенного расширения экспериментальных научно-исследовательских работ.

#### Список литературы

1. Гура, А. Н. Штрихи к практике управления. В помощь руководителю стратегического уровня управления / А. Н. Гура. – Минск, 2016. – 204 с.
2. Фельдштейн, Д. И. Приоритетные направления развития психолого-педагогических исследований / Д. И. Фельдштейн // Сибир. пед. журн. – 2006. – № 1. – С. 35–40.
3. Юрьев, Л. К реформе нашей военной школы / Л. Юрьев // Офицерская жизнь. – 1907. – № 60.
4. Волкова, Е. В. Особенности связей показателей интеллекта, креативности и успешности обучения в группах студентов с разным уровнем IQ / Е. В. Волкова // Психология интеллекта и творчества: Традиции и инновации: материалы науч. конф., посвящ. памяти Я. А. Понамарева и В. А. Дружинина, Москва, 7–8 окт. 2010 г. / ИП РАН. – М., 2010. – С. 123–131.
5. Тицкий, А. Г. Когнитивный стиль «полезависимость / полenezависимость» и эффективность форм контроля знаний у курсантов военного вуза / А. Г. Тицкий // Психол. журн. – 2009. – № 4. – С. 76–80.
6. Gardner, R. W. Cognitive control of differentiation in perception persons and objects / R. W. Gardner, L. J. Lohrenz, S. R. A. Choen // Perc. Motor Skills. – 1968. – Vol. 26. – P. 311–330.

7. Колга, В. А. Дифференциально-психологическое исследование когнитивного стиля и обучаемости: дис. ... канд. психол. наук: 19.00.01 / В. А. Колга. – Л., 1976. – 180 с.
8. Ливер, Бетти Лу. Обучение всего класса / Бетти Лу Ливер; пер. с англ. О. Е. Биченковой. – М.: Новая шк., 1995. – 83 с.
9. Лобанов, А. П. Интеллект и когнитивные стили / А. П. Лобанов. – Орша: Диаль, 2006. – 304 с.
10. Witkin, H. A. Cognitiv Styles: Essence and Origins. Field dependece and field independence / H. A. Witkin, D. R. Goodenough. – N. Y., 1982. – 135 p.
11. Холодная, М. А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума / М. А. Холодная. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 384 с.
12. Шкуратова, И. П. Когнитивный стиль в общении / И. П. Шкуратова. – Ростов н/Д, 1994. – 156 с.
13. Тицкий, А. Г. Боевой стресс: учеб.-метод. пособие / А. Г. Тицкий, Н. Н. Лепешинский, М. А. Лепешинская. – Минск: ВА РБ, 2008. – 75 с.
14. Пергаменщик, Л. А. Кризисная психология / Л. А. Пергаменщик. – Минск: Вышэйш. шк., 2004. – 288 с.

---

\*Сведения об авторе:

Тицкий Александр Геннадьевич,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 06.04.2017 г.

**Требования к статьям, представляемым для опубликования  
в военном научно-теоретическом журнале  
«Вестник Военной академии Республики Беларусь»**

Представляемые в редакцию материалы должны отражать оригинальные результаты исследований авторов по актуальной тематике в области военных наук, технических наук (радиотехника, связь, электроника и микроэлектроника, информатика, вычислительная техника и управление, вооружение и военная техника), педагогических наук (воинское обучение и воспитание, военная педагогика). Статья должна быть посвящена решению важной самостоятельной теоретической или прикладной задачи, характеризоваться научной новизной, цельностью, последовательностью и логичностью изложения материала.

Рекомендуется в каждой из статей выделять:

*введение* с характеристикой состояния дел в соответствующей области исследования, обоснованием актуальности рассматриваемой задачи, а также изложением общего подхода к ее решению;

*основную часть*, отражающую используемый метод исследования и его результаты в сопоставлении с известными ранее;

*выводы*, характеризующие обобщения и умозаключения авторов, непосредственно вытекающие из представленного в основной части материала, а также возможные направления и перспективы использования полученных результатов.

К опубликованию не принимаются материалы, представляющие собой компиляцию известных результатов исследований других авторов, а также статьи публицистического характера, не связанные с решением конкретной научной задачи.

В конце статьи приводится список литературных источников, на которые даются ссылки при изложении основного текста. Автор несет ответственность за достоверность цитирования, а также отсутствие плагиата.

Требования к оформлению статей:

общий объем 6–8 страниц формата А4; в исключительных случаях общий объем может быть аргументированно увеличен до 12 страниц;

текстовый редактор Word for Windows версии 6.0 или выше;

редактор формул MathType версий 6.0–6.7;

поля 2 см (со всех сторон);

шрифт Times New Roman Cyr, 12 pt;

межстрочное расстояние 1 интервал.

Основной текст статьи должны предварять:

УДК (выравнивание по левой стороне);

название (шрифт полужирный, буквы прописные, выравнивание по центру);

инициалы, фамилия, ученая степень и ученое звание автора (-ов) (выравнивание по центру);

аннотация на русском и английском языках (курсив, отступ первой строки 1,25 см, выравнивание по ширине).

Форматирование основного текста: отступ первой строки 1,25 см; выравнивание по ширине. Форматирование подписей к рисункам: шрифт светлый, выравнивание по центру. Форматирование заголовков таблиц: шрифт светлый, выравнивание по левому краю таблицы. Форматирование формул: выравнивание по центру, последовательная нумерация (по правому краю, в скобках).

Промежутки между структурными элементами статьи (УДК, название, авторы, аннотация, основной текст, список литературы) по вертикали – 6 pt.

На обороте последней страницы необходимо указать фамилию, имя, отчество автора, подразделение, организацию, номер контактного телефона.

Текст статьи (в распечатанном и электронном вариантах) вместе с выпиской из протокола заседания кафедры (НИЛ), рекомендующей ее к опубликованию, направляется в редколлегию. Если авторы статьи являются сотрудниками внешней организации, дополнительно требуется представить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати.