

ISSN 2224-1132



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

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ
ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

№ 24

**Минск
2013**

Редакционная коллегия

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

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

Изд. лиц. № 02330/0494406 от 27.03.09. Подп. в печ. 17.06.13 г.
Формат 60x84/8. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Ризография.
Уч.-изд. л. 18,2. Усл. печ. л. 21,16. Тираж 100 экз. Зак. 216.
Издательство УО «ВА РБ». 220057, Минск-57.
Типография УО «ВА РБ». 220057, Минск-57.
Лиц. № 02330/0150499 от 11.03.09.

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 24

СОДЕРЖАНИЕ

1. Военные науки

Богданов Д. Ю., Гусак А. Н., Дубас Р. О. Разработка методических и программных средств обоснования решения на организацию материального обеспечения войск (сил) в ходе ведения боевых действий	3
Булойчик В. М., Рутько Е. В., Герцев А. В. Разработка модуля принятия решений системы моделирования военных действий	10
Валаханович П. А., Рухлевич В. И. О подходе к автоматизации задач управления тактическим соединением	16
Гременок А. Ф., Сагун В. Б. Применение вооруженных сил в миротворческих операциях	21
Гончаревич С. Н. Подход к оценке готовности автомобильной техники к использованию по назначению	27
Долудо С. В. Математическая модель технической разведки отдельной механизированной бригады	32
Еськин С. В., Богданов Д. Ю. Перевозка горючего в мягких резервуарах автомобильным транспортом: опыт и перспективы	37
Макарова Е. С., Булойчик В. М., Герцев А. В., Рутько Е. В. Элементы теории искусственного интеллекта в задаче синтеза алгоритмов управления, реализуемых в имитационной системе моделирования военных действий	42
Шевченко В. С. Условия безопасной эксплуатации стареющих самолетов	47

2. Технические науки

Дубовский С. Г., Шипица Д. И., Рожок А. В. Математическая модель расчета групповых вероятных отклонений рассеивания при бомбометании ударным беспилотным летательным аппаратом	52
Ильёв И. Г., Кривец А. Ф., Демьянович Ю. Н., Рудник А. Ф. Учет функционирования аппаратуры коррекции дальности при моделировании движения реактивного снаряда	61
Комаров И. Н., Берикбаев В. М., Акулич С. В., Кононенко А. В. Разработка модели боевого применения вертолетов радиоэлектронной борьбы	67
Конопелько О. А., Дорошков В. П., Шипуля А. И. Локально-одномерный метод решения краевой задачи нестационарной теплопроводности авиационных артиллерийских стволов	72
Куренёв В. А., Анисеев С. В. Идентификатор наличия цели	77
Лапука О. Г. Энергетические соотношения при согласованной фильтрации дискретного конечномерного сигнала в цифровом приемнике	83

Малашин А. Н., Чумаков С. А. Анализ электромагнитных процессов в электрических цепях при воздействии периодических импульсов, описываемых гармоническими и экспоненциальными функциями	91
Мишута Д. В., Михайлов В. Г. Сравнительный анализ прочностных показателей стального и алюминиевого каркасов кузовов-контейнеров специального назначения	101
Спесивцев В. В. Оптимальное временное сжатие сигналов при радиолокационном наблюдении плотной группы целей	107
Шоманков Д. А., Вашкевич В. Р. Диагностическая модель канала измерения барометрической высоты полета воздушного судна по информации средств объективного контроля	114
Шейников А. А., Суходолов Ю. В., Санько А. А. Методика автоматизированной оценки качества коммутации электрических машин постоянного тока в условиях неопределенности	123
Шалумов А. С., Ивашко В. М., Мацкевич А. Н., Тихонова Е. Ю., Ларкин А. В. Моделирование радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия	135

3. Гуманитарные науки

Жутдиев Б. Б. Историко-социологический аспект основных моделей интеграционных процессов	142
Карлович М. Ф., Миронюк П. И. Состояние и направления совершенствования пограничного режима	152
Курмашов А. Н. Подход к оценке качества выполнения задач по охране общественного порядка при проведении массовых мероприятий на основе стандарта сферы услуг системы менеджмента качества	157
Липовка В. Г., Володина М. К. Социокультурная компетенция – один из аспектов в обучении иностранному языку	162
Малашенко В. Г. Проблемы комплектования воинских формирований Республики Беларусь на период до 2020 года с учетом сложившейся демографической ситуации	167
Семашко Ю. А., Говин А. А., Вертинский А. П. Основные тенденции развития высшей военной школы в XXI веке	172

1. ВОЕННЫЕ НАУКИ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЯ НА ОРГАНИЗАЦИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК (СИЛ) В ХОДЕ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

УДК 355.41

Д. Ю. Богданов, А. Н. Гусак, Р. О. Дубас*

В статье рассматриваются актуальные аспекты проблемы создания автоматизированной системы управления материальным обеспечением Вооруженных Сил и описывается комплекс методических и программных средств обоснования решения на организацию материального обеспечения войск (сил) в ходе боевых действий (операций), который может быть включен в эту автоматизированную систему.

In article actual aspects of the automated control system problem creation are considered by material maintenance of Armed forces and the complex methodical and software of a substantiation of the decision on the organization of material maintenance of armies (forces) is described during operations (operations) which can be included in this automated system.

В последние годы в Вооруженных Силах Республики Беларусь существенно изменились взгляды на формы и способы ведения войсками боевых действий (операций). В этих условиях очевидна необходимость адекватной реорганизации системы материального обеспечения (СМатО) войск (сил), обусловленная как внешними по отношению к этой системе факторами: изменением способов ведения боевых действий, развитием комплекса применяемых в современных вооруженных конфликтах средств противодействия (разведки и поражения), так и внутренними: ограниченным количеством материальных средств (МатС), их высокой стоимостью, высокой затратностью процессов содержания и доставки ресурсов от поставщика до потребителя и т. д.

Анализ СМатО [1] показывает, что, функционируя под воздействием комплекса разнородных факторов, она представляет собой сложную динамическую структуру, имеющую подсистемы нескольких уровней, состоящие из достаточно большого количества разнородных элементов. Она включает соединения и воинские части материального обеспечения (МатО), запасы МатС, транспорт подвоза, средства механизации погрузочно-разгрузочных работ, элементы местной промышленно-экономической базы, неразрывно связана с системой транспортных коммуникаций. Система реализует большое количество разнородных, но взаимосвязанных и взаимодействующих между собой процессов, направленных на выполнение поставленных задач, главными из которых являются организационные – связанные с разработкой решений по организации МатО, и практические – связанные с реализацией принятых решений. При этом эффективность практических мероприятий прямо зависит от степени рациональности принимаемых организационных решений.

Считается [2], что наибольший прирост эффективности СМатО в условиях высокотехнологичных боевых действий достижим не за счет внедрения дополнительного числа резервируемых элементов и насыщения системы избыточным количеством ресурсов, но за счет использования новых подходов к организации ее функционирования, например системного логистического подхода, подразумевающего интеграцию таких областей, как производственная деятельность, управление материальными, информационными, финансовыми потоками, запасами, складским хозяйством, транспортом, кадрами, в единую систему. Основой такого подхода к организации функционирования СМатО является использование методологически и технологически передовых средств, позволяющих с требуемой (достаточной) эффективностью управлять системой, планировать ее работу и осуществлять поддержку принятия соответствующих управленческих решений.

В вооруженных силах наиболее передовых в экономическом и технологическом отношении государств разработаны, внедрены и постоянно совершенствуются универсальные системы автоматизации управления процессами тылового обеспечения (типа DPAS (Defense Property Accountability System) – система управления запасами МатС вооруженных сил США, SASPF (Standart Anwendunes Software Product Familie) – глобальная автоматизированная административно-информационная система обеспечения повседневной деятельности бундесвера), а также систем (информационных сетей) контроля наличия и перемещения грузов военного назначения на базе технологии автоматической идентификации (типа GCSS-A (Global Combat Support System-Army) – глобальная автоматизированная система управления тыловым обеспечением сухопутных войск США, или CPM (Customer Product Management) – система управления процессом снабжения бундесвера) [3–4].

Автоматизированные системы такого типа функционируют в вооруженных силах стран НАТО уже начиная с 1997 года и на нынешний день обеспечивают:

взаимодействие между процессами обеспечения войск и оперативного управления ими (предоставление командующим объединенными оперативными формированиями информации для выработки вариантов действий);

взаимодействие и интеграцию систем управлений и ведомств министерства обороны, объединенных и видовых систем обеспечения войск;

интегрированный обзор поля боя с отслеживанием состояния и местоположения личного состава, МатС и другого имущества;

доступ должностных лиц к постоянно обновляемой общей базе данных;

взаимодействие с поставщиками МатС и имущества.

Понятно, что форсированное создание и внедрение собственных аналогичных средств и систем, а тем более их приобретение в готовом виде, потребовало бы недопустимо высоких финансовых затрат (так, расходы США на развитие информационной инфраструктуры ВС и разработку автоматизированных информационных систем начиная с 2004 года составляют ежегодно 15–19 млрд долл. [3]). Поэтому решать задачу технологической модернизации СМатО следует, по нашему мнению, сообразуясь с реальными экономическими возможностями государства, максимально используя те направления, средства и способы, которые не требуют существенных финансовых и ресурсных затрат.

Исходя из этого, одним из перспективных направлений модернизации в отношении СМатО мы считаем автоматизацию процессов принятия решений по организации МатО, отличающихся высокой интенсивностью информационных потоков, значительными объемами обрабатываемой и передаваемой информации, априорной неопределенностью. В прикладном плане это разработка логико-математического и программного обеспечения автоматизированного рабочего места (АРМ) ЛПР в перспективной автоматизированной системе управления (АСУ).

Очевидно, что для решения этой задачи вначале необходимо исследовать позитивный и негативный опыт и перспективы применения разнородных: оптимизационных и технических средств (систем) для обоснования (поддержки) всего спектра управленческих решений.

Какие же управленческие решения вырабатываются в процессе организации СМатО? По нашему мнению, это, во-первых, решения по созданию рациональной конфигурации системы (связанные с размещением элементов СМатО на местности), а во-вторых – решения, связанные с обеспечением эффективного функционирования системы в заданной конфигурации.

Решения, связанные с конфигурированием СМатО, достаточно жестко регламентированы и зависят в основном от объективных обстоятельств (факторов), поэтому методические средства их обоснования малоперспективны с точки зрения применения разнородных оптимизационных средств. Исходя из этого, в качестве основных логико-математических решений (задач), включенных в структуру процесса организации СМатО, авторы рассматривали (рисунок 1):

прогнозирование потребности войск в МатС в ходе боевых действий (операций);

определение обеспеченности МатС;
 распределение ресурса МатС потребителям;
 распределение партий МатС по поставщикам и потребителям.

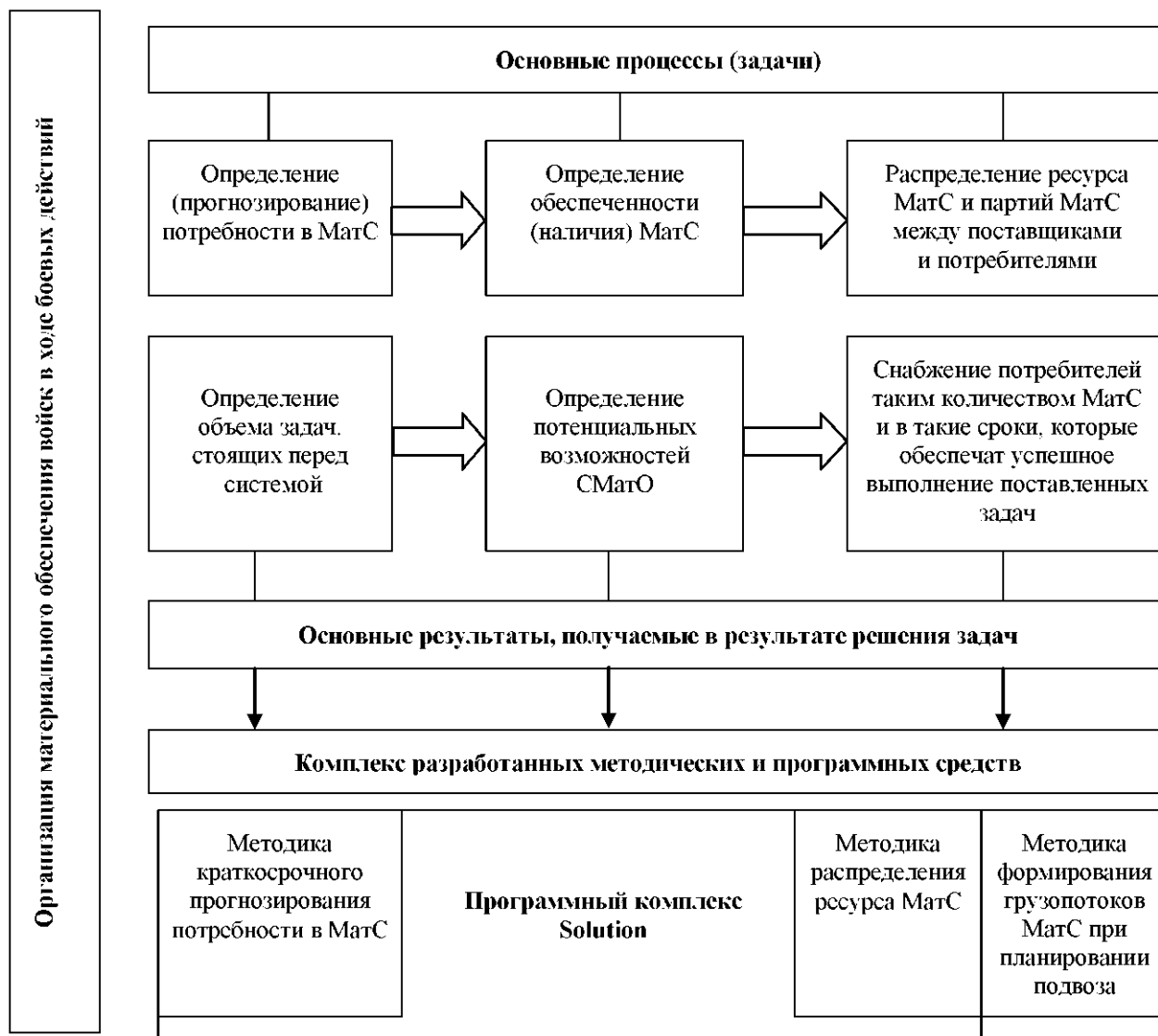


Рисунок 1 – Место разработанного комплекса методических и программных средств в структуре процесса организации МатО войск (сил) в ходе боевых действий

Действительно, последовательное решение перечисленных задач в совокупности является собой целостный процесс (цикл) организации МатО войск (сил). Продолжительность этого цикла, как правило, не превышает одних суток, по истечении которых цикл повторяется.

Анализ методических средств, используемых при решении указанных задач [5], выявил несовершенство, а в отдельных случаях – практическую неприемлемость использования некоторых существующих методик, в частности:

методики прогнозирования динамики потребности войск в МатС (существующая методика прогнозирования, разработанная фактически на основе опыта крупномасштабных учений 80-х годов XX века, не учитывает существенных изменений в формах и способах ведения боевых действий (операций) как эвентуальным противником, так и Вооруженными Силами, не является адаптивной (не реагирует на возможную ошибку в прогнозе));

методики распределения войскам ресурса МатС в условиях дефицита (существующая методика распределения допускает отказ в удовлетворении заявок с низким приоритетом при низкой общей степени обеспеченности, что может привести к утрате соединением (воинской частью) боеспособности по показателю «обеспеченность запасами МатС»);

методики формирования грузопотоков при организации подвоза МатС войскам в ходе боевых действий (существующая методика не учитывает влияния ряда существенных факторов, характерных для МатО войск в ходе боевых действий: проходимости и пропускной способности различных участков транспортных коммуникаций, возможностей поставщиков по отгрузке в единицу времени, ограничений по размеру минимальной партии груза, обусловленных принятой тактикой действий подразделений (воинских частей) подвоза, и др.).

В связи с этим был разработан комплекс методических средств (рисунок 1), включающий следующие элементы:

1. Адаптивная методика краткосрочного прогнозирования потребности войск в МатС в ходе боевых действий (операций), основанная на процедуре экспоненциального сглаживания временного ряда потребности в МатС [6].

В самом общем виде прогнозирование предложено осуществлять по выражению

$$S_{t+1} = \widehat{b}_{1,t} + \widehat{b}_{2,t} \tau,$$

где S_{t+1} – прогнозируемое значение потребности;

$\widehat{b}_{1,t}$ и $\widehat{b}_{2,t} \tau$ – текущие оценки коэффициентов модели;

τ – время упреждения прогноза.

Оценка значений коэффициентов $\widehat{b}_{1,t}$ и $\widehat{b}_{2,t} \tau$ производится в соответствии со следующими рекуррентными формулами:

$$\widehat{b}_{1,t} = \widehat{b}_{1,t-1} + \widehat{b}_{2,t-1} + \alpha_1 e_t;$$

$$\widehat{b}_{2,t} = \widehat{b}_{2,t-1} + \alpha_1 \alpha_2 e_t,$$

где α_1 и α_2 – параметры экспоненциального сглаживания (адаптации), $0 < \alpha_1, \alpha_2 < 1$;

$e_t = y_t - S_t$ – ошибка прогноза.

Первоначальные значения коэффициентов $\widehat{b}_{1,t-1}$ и $\widehat{b}_{2,t-1}$ могут быть получены с помощью метода наименьших квадратов в результате решения системы уравнений

$$\begin{cases} \widehat{b}_{1,t} n + \widehat{b}_{2,t} \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i; \\ \widehat{b}_{1,t} \sum_{i=1}^n t_i + \widehat{b}_{2,t} \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i y_i, \end{cases}$$

где n – число предварительных этапов наблюдения;

i – порядковый номер этапа наблюдения;

t_i – этап появления информации ($t_1 = 0, t_2 = T, t_3 = 2T$);

y_i – фактическое значение наблюдаемого параметра на i -м этапе наблюдения.

Наиболее приемлемые значения параметров адаптации α_1 и α_2 подбираются по критерию минимизации суммы квадратов ошибок.

2. Методика рационального распределения войскам ресурса МатС в условиях дефицита на основе оценки «веса» заявок в сравнении с общим уровнем обеспеченности, а также установления приоритета потребителей методом относительных предпочтений [7].

Рациональное распределение ресурса МатС в условиях дефицита предложено производить с использованием следующего алгоритма:

если

$$Q_i^K - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^K < 0,$$

где Q_i^K – имеющийся в наличии ресурс МатС i -го вида на K -м этапе распределения;

Q_{pij}^K – потребность j -го соединения (воинской части) в i -м виде МатС на K -м этапе распределения;

N – номенклатура МатС;

m – количество соединений (воинских частей),

то ресурс распределяется пропорционально относительной важности (приоритета) и потребности каждого соединения, воинской части:

$$Q_{ij}^k = \gamma \frac{Q_i^K \alpha_j}{\sum_{j=1}^m \alpha_j} + (1-\gamma) \frac{Q_i^K Q_{ij}^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij}^k},$$

где α_j – коэффициент приоритета j -го соединения (воинской части), определяемый методом относительных предпочтений;

γ – коэффициент, отражающий общий уровень обеспеченности в i -х МатС на K -м этапе, определяемый по выражению

$$\gamma = \left| \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^k - Q_i^K}{Q_i^K} \right|$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} Q_{ij}^k &\leq Q_{pij}^k, \\ Q_{ij}^k &> 0, \end{aligned}$$

где x_i – коэффициент, определяющий критический уровень запасов i -го наименования.

3. Методика рационального формирования грузопотоков при организации подвоза МатС войскам в ходе оборонительных боевых действий (операций), включающая решение с учетом новых существенных факторов задачи рационального выбора маршрутов подвоза МатС на основе оценки транспортных сетей методами теории графов, а также задачи рационального распределения партий МатС между поставщиками и потребителями методами линейного программирования [8].

При этом расчет весов ребер (дуг) графов (транспортных сетей) предлагается производить по формуле

$$t_{X_i X_j} = \frac{L_{X_i X_j}^{\text{расч}}}{V_{X_i X_j}^{\text{расч}}} + \sum_{n=1}^m n \frac{Q_n^{\text{тр}}}{q_n^{\text{ном}}},$$

где $t_{X_i X_j}$ – время преодоления автомобильной колонной участка подвоза от пункта X_i до пункта X_j , ч;

$L_{X_i X_j}^{\text{расч}}$ – расчетная протяженность участка подвоза от пункта X_i до пункта X_j , км;

$V_{X_i X_j}^{\text{расч}}$ – средняя скорость движения колонны на участке маршрута от пункта X_i до пункта X_j , км/ч;

n – количество разрушенных объектов на участке маршрута от пункта X_i до пункта X_j , шт.;

$Q_n^{\text{тр}}$ – объем восстановительных работ на n -м объекте, м;

$q_n^{\text{ном}}$ – возможности наряда сил и средств по выполнению восстановительных работ на n -м объекте, м/ч;

при

$$V_{X_i X_j}^{\text{сп}} = (((V^{\text{сп}} k_{\text{дор}}) k_{\text{с.г}}) k_{\text{л.п}}) k_{\text{л.с}},$$

где $V^{ср}$ – номинальная средняя скорость движения колонны, км/ч;

$k_{дор}$ – коэффициент категории дороги;

$k_{с.г}$ – коэффициент сезона года;

$k_{л.п}$ – коэффициент состояния дорожного покрытия;

$k_{л.с}$ – коэффициент обученности личного состава.

Кроме того, в качестве минимизируемого показателя при решении задачи линейного программирования в рамках разработанной методики предложено использовать временные затраты на подвоз МатС в зависимости от маршрута и варианта использования транспорта подвоза:

$$c_{ijz} = t_{jz}^{погр} + t_{ij}^{дв} + t_{iz}^{выгр},$$

где c_{ijz} – временные затраты на доставку МатС z -го вида из j -го источника i -му потребителю, ч;

$t_{ij}^{погр}$ – временные затраты на погрузку МатС z -го вида в j -м источнике, ч;

$t_{ij}^{дв}$ – гарантированное время преодоления наиболее рационального маршрута от j -го источника к i -му потребителю, ч;

$t_{iz}^{выгр}$ – временные затраты на выгрузку МатС z -го вида в i -м потребителе, ч.

В целях автоматизации основных процессов, включенных в структуру решения на МатО, авторами был разработан комплекс программных средств поддержки принятия решений по организации МатО войск Solution, реализующий методики краткосрочного прогнозирования потребности и распределения ресурса МатС.

Разработанный программный продукт может применяться в интересах планирования МатО войск ОК (ОТК, соединения) в ходе боевых действий (операций). Включенный в состав программного обеспечения АРМ должностных лиц, организующих МатО, комплекс Solution позволяет автоматизировать процессы сбора, анализа и обобщения исходных данных для планирования МатО, а также осуществлять прогнозирование потребности войск ОК (ОТК, соединения) в МатС и распределение войскам ОК (ОТК, соединения) ресурса МатС (в том числе в условиях дефицита). При этом значительно сокращаются временные затраты на сбор и обработку данных, снижается удельная трудоемкость выполнения функции управления, осуществляется информационная поддержка ЛПР, а также сводится к минимуму вероятность принятия им неадекватных решений.

Проверка и оценка разработанных методик, а также комплекса программных средств Solution проводилась в ходе мероприятий оперативной и боевой подготовки Вооруженных Сил в 2011–2013 гг. Полученные предварительные результаты свидетельствуют о достигнутом:

увеличении точности и надежности краткосрочного прогнозирования потребности войск в МатС за счет использования разработанной адаптивной методики прогнозирования потребности с доверительной вероятностью 0,95 до 51 %;

увеличении продолжительности нахождения обеспечиваемой системы в боеспособном состоянии по показателю «обеспеченность запасами МатС» в заданных критических условиях за счет применения разработанной методики распределения ресурса МатС в условиях дефицита до 30 %;

снижении удельных временных затрат на доставку грузов за счет использования разработанной методики формирования грузопотоков до 28 %;

снижении продолжительности цикла управления функционированием СМатО до 33 % и удельной трудоемкости выполнения функции управления до 80 % за счет применения комплекса методических и программных средств на АРМ.

Таким образом, в рамках решения общей задачи повышения эффективности организации МатО войск (сил) в ходе боевых действий (операций) и частной задачи по разработке логико-математического и программного обеспечения автоматизированного рабочего места

ЛПР в перспективной АСУ тыла Вооруженных Сил военного времени нами разработан комплекс методических и программных средств обоснования решений по организации МатО.

Применение разработанных методических и программных средств позволяет:

с практически приемлемой точностью осуществлять краткосрочное прогнозирование потребности войск в МатС в ходе боевых действий (операций) и на основании таких прогнозов оценивать общую обеспеченность в МатС;

дать оценку сложившимся обстоятельствам по МатО в реальном масштабе времени, исходя из сложившейся оперативно-тыловой (тактико-тыловой) обстановки, а также выдавать данные для корректировки планов МатО;

исходя из имеющейся оперативно-тыловой информации, наиболее рациональным образом распределять ресурс МатС, выделяемый обеспечиваемым соединениям (воинским частям, подразделениям), а также формировать грузопотоки при организации подвоза МатС.

Конечным результатом при этом является повышение эффективности организации МатО в условиях ведения боевых действий (операций) без существенных финансовых и ресурсных затрат.

Список литературы

1. Горбач, С. А. Научно-методический аппарат оценки эффективности системы материального обеспечения Вооруженных Сил / С. А. Горбач, Д. В. Мацнев, Д. Ю. Богданов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 3. – С. 44–49.

2. Родионов, А. А. Анализ системы тылового обеспечения Вооруженных Сил, тенденции ее развития и совершенствования / А. А. Родионов, В. М. Козловский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 3. – С. 24–28.

3. Резяпов, Н. Развитие информационной инфраструктуры тылового обеспечения ВС США / Н. Резяпов // Зарубежное воен. обозрение. – 2012. – № 9. – С. 22–31.

4. Кутинов, О. Тыловое обеспечение вооруженных сил Германии / О. Кутинов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.modernarmy.ru/article/204>. – Дата доступа: 18.02.2013.

5. Богданов, Д. Ю. Проблемы применения существующих моделей оптимизации, используемых при планировании материального обеспечения войск в ходе боевых действий и способы их решения / Д. Ю. Богданов // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 21. – С. 56–63.

6. Богданов, Д. Ю. Прогнозирование потребности в материальных средствах при планировании материального обеспечения войск в ходе боевых действий на основе экспоненциального сглаживания / Д. Ю. Богданов, А. Н. Гусак // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 1. – С. 72–78.

7. Богданов, Д. Ю. Математические методы решения задачи распределения ресурса материальных средств в условиях дефицита / Д. Ю. Богданов, А. Н. Гусак // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 4. – С. 54–60.

8. Богданов, Д. Ю. Решение задачи рационального выбора маршрутов подвоза материальных средств войскам в ходе оборонительных боевых действий (операций) по критерию «гарантированное время прохождения маршрута» / Д. Ю. Богданов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 3(36). – С. 30–38.

* Сведения об авторах:

Богданов Денис Юрьевич,

Гусак Андрей Николаевич,

Дубас Руслан Олегович.

УО «Воснная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 18.02.2013 г.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

УДК 519.711.3

В. М. Булойчик, Е. В. Рулько, А. В. Герцев*

В статье предложен подход к разработке модуля принятия решений системы моделирования военных действий, основанный на использовании метода анализа иерархий. Приведен практический пример работы данного модуля.

In article the approach to working out of the module of decision-making of system of modeling of the military operations, based on use of a method of the analysis of hierarchies is offered. The practical example of work of the given module is resulted.

Применение систем моделирования военных действий позволяет командирам (штабам, боевым расчетам) приобрести навыки реагирования на самые разные, подчас непредвиденные действия противника. Кроме того, на основании анализа результатов моделирования можно выбрать лучшее решение и тем самым увеличить вероятность успеха в реальных конфликтах.

Отличительной особенностью подобных программных комплексов является их высокая реалистичность, выражающаяся в учете большого количества факторов, начиная с непосредственного участия отдельных подразделений, рельефа местности, погодных условий и кончая организацией снабжения и материально-технического обеспечения войск. Создание систем моделирования окупает все расходы, которые не идут ни в какое сравнение с затратами на проведение настоящих учений и подготовку к реальным боевым действиям. При этом одной из важнейших проблем, требующих своего разрешения при создании специального математического и программного обеспечения систем моделирования военных действий, является разработка формализованного описания интеллектуальных задач, решаемых командиром при управлении подчиненными силами и средствами. Основная трудность такого описания состоит в воспроизведении рассуждений командира (моделировании его мыслительной деятельности) в процессе оценки обстановки и принятия решения в условиях противоборства с противником. Очевидной является проблематичность использования для этих целей традиционных методов количественного анализа.

В реальной жизни качество принятого решения зависит от опыта и творческих способностей командира соответствующего уровня. Эти способности и опыт должны быть воспроизведены с помощью разрабатываемого модуля имитации мыслительной деятельности командира (модуля принятия решений). При этом необходимо организовывать управление поведением моделируемого объекта не с помощью случайного механизма (подход, наиболее распространенный на практике), а на основании формализованной логики рассуждений командира (логики здравого смысла).

Определяющими факторами формирования облика модуля принятия решений являются: необходимость решения широкого множества самых разнообразных задач, таких как выбор одной из нескольких целей для обстрела, находящихся в секторе стрельбы; выбор построения боевого порядка для конкретной сложившейся обстановки и др. Это затрудняет использование конечного набора специальных алгоритмов для решения каждой из возможных задач;

сложность математической формализации процесса принятия эффективных решений, что вызывает необходимость использования современных подходов на основе технологий искусственного интеллекта;

необходимость принятия решений, обоснованных с точки зрения здравого смысла, тактики ведения боя и опыта командира, что предъявляет требования к наличию соответствующего интерфейса для формализации такого рода информации и необходимости создания специальной базы знаний.

Таким образом, требуется построение модуля, способного с достаточной степенью качества обосновывать, предлагать, принимать наилучшие решения в разнообразных ситуациях и осуществлять их поиск.

Сегодня на практике в этих целях наиболее часто используются экспертные системы [1]. Однако они позволяют получить решение на основании операций с данными той степени сложности и абстрактности, в какой они будут введены в базу знаний. В нашем случае данные в модуль принятия решений поступают от системы моделирования и могут быть представлены только в виде численных значений. В связи с этим возникает необходимость нахождения алгоритма, позволяющего переходить от конкретных численных параметров, описывающих ситуацию, возникающую в процессе моделирования, к комплексным абстрактным категориям, которыми оперирует человек в процессе принятия решения. В ходе проведенных исследований было установлено, что в этом смысле наиболее эффективным является метод анализа иерархий [2].

Логика функционирования созданной экспертной системы предполагает на этапе, предшествующем моделированию, формирование определенного набора задач (проблемных ситуаций) с определенным набором параметров для идентификации их появления в ходе моделирования (рисунок 1); формирование параметров, на основании которых принимается решение; формирование альтернатив с соответствующими им алгоритмами.

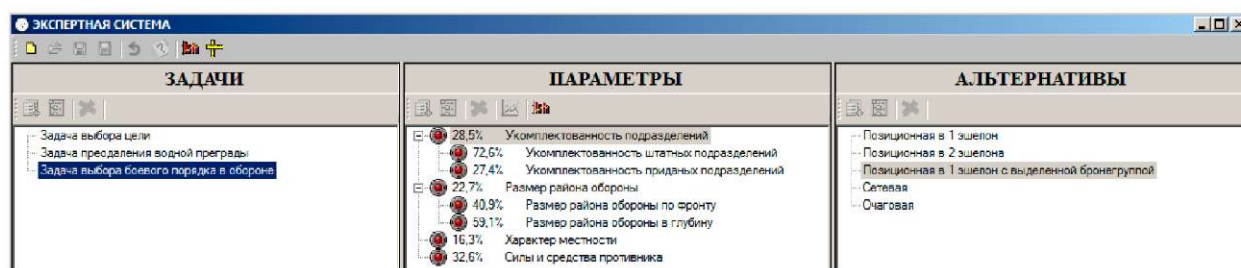


Рисунок 1 – Главное окно модуля принятия решений

В представленном на рисунке главном окне модуля принятия решений на панели ЗАДАЧИ в качестве примера отображены три решаемые модулем задачи, формализованные на этапе, предшествующем работе системы моделирования: задача выбора цели, задача преодоления водной преграды и задача выбора боевого порядка в обороне. В свою очередь каждая из задач содержит свои системы параметров и альтернатив. Например, на рисунке 1 отображены системы параметров (панель ПАРАМЕТРЫ) и альтернатив (панель АЛЬТЕРНАТИВЫ) для задачи выбора боевого порядка в обороне (она является выделенной из общего списка задач). Так, на панели ПАРАМЕТРЫ отображены следующие параметры верхнего уровня: укомплектованность подразделений – коэффициент важности 28,5 %; размер района обороны – 22,7 %; характер местности – 16,3 %; силы и средства противника – 32,6 %. Очевидно, что в сумме коэффициенты важности параметров одного уровня должны давать 100 %.

Из рисунка 1 видно, что укомплектованность подразделений является комплексным параметром и определяется укомплектованностью штатных подразделений – коэффициент важности 72,6 %, а также укомплектованностью приданных подразделений – 27,4 %. Размер района обороны также является комплексным параметром и определяется размером района обороны по фронту – 40,9 %, а также размером района обороны в глубину – 59,1 %.

На панели АЛЬТЕРНАТИВЫ отображены возможные варианты построения боевого порядка: позиционная в 1 эшелон, позиционная в 2 эшелона, позиционная в 1 эшелон с выделенной бронегруппой, сетевая, очаговая.

На начальном этапе также осуществляется ввод данных метризации предпочтений для параметров различных уровней (рисунок 2). На данном рисунке изображен интерфейс, с по-

мощью которого осуществляется формирование коэффициентов важности параметров верхнего уровня в системе параметров задачи выбора цели.



Рисунок 2 – Метризация предпочтений

Программа автоматически пересчитывает значения в относительные. Вне зависимости от положения каждого из ползунков в рамках шкалы от 0 до 100 сумма относительных значений параметров одного уровня будет составлять 100 %. В приведенном примере коэффициент важности степени опасности цели был оценен экспертом в 46,4 %, степени важности цели – в 32,8 %, степени сложности поражения цели – в 20,8 %.

Кроме того, на начальном этапе осуществляется ввод функциональных зависимостей степени влияния различных параметров (рисунок 3).

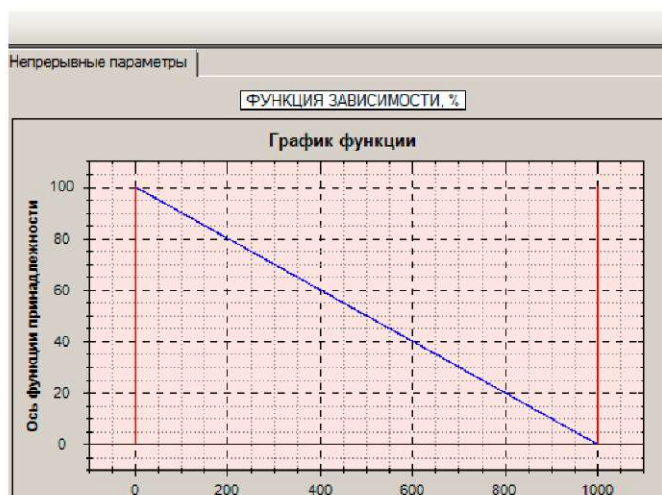


Рисунок 3 – Ввод зависимостей

На рисунке изображен график зависимости степени влияния расстояния (в процентах) от его значения в метрах.

Также на начальном этапе осуществляется ввод данных ранжирования объектов по параметрам (рисунок 4).

Дискретные параметры	
ОБЪЕКТ	ЗНАЧЕНИЕ
Танк	90
БМП	30
Стрелок	10

Рисунок 4 – Ранжирование объектов

На рисунке изображены введенные экспертом данные для параметра опасности цели, определяемой ее типом. Из него видно, что наиболее опасным из списка объектов является танк (коэффициент 90).

Использование введенных данных позволяет при возникновении соответствующей проблемной ситуации в процессе моделирования автоматически принимать логичное и взвешенное решение по выбору одной из множества альтернатив, подобно тому, как это осуществляется в методе анализа иерархий [2].

Математический аппарат описанной методики предполагает осуществление синтеза глобальных приоритетов G_i для каждой i -й альтернативы и выбор той из них, для которой рассчитанное значение G_i окажется наибольшим. В свою очередь, значение глобального приоритета i -й альтернативы определяется как

$$G_i = \sum_{n=1}^k (P_n \cdot H_n),$$

где k – число параметров верхнего уровня;

P_n – значение важности n -го параметра верхнего уровня, определяемое экспертом, в системе параметров верхнего уровня;

H_n – собственное численное значение важности параметра верхнего уровня.

Если n -й параметр верхнего уровня не содержит дочерних параметров (т. е. он может быть представлен в виде значения некоторой физической величины или коэффициента), то

$$H_n = H_{Sn},$$

где H_{Sn} – собственное значение простого параметра.

Если рассматриваемый параметр связан с некоторой физической величиной, принимающей значения в заданном интервале, то

$$H_{Sn} = f_n(X_n),$$

где X_n – численное значение параметра, полученное в результате моделирования;

$f_n(X_n)$ – функция зависимости степени влияния параметра от его значения, определяемая экспертом.

Если рассматриваемый параметр связан с неким объектом, для которого необходимо осуществить ранжирование по данному параметру в системе из множества объектов, то

$$H_{Sn} = Z_n,$$

где Z_n – коэффициент ранжирования, определяемый экспертом.

Если n -й параметр верхнего уровня содержит дочерние параметры, т. е. он носит комплексный характер и не может быть представлен в виде значения некоторой физической величины или коэффициента, то

$$H_n = \sum_{i=1}^l (P_i \cdot H_i),$$

где l – число параметров, входящих в состав комплексного параметра верхнего уровня;

P_i – значение важности i -го параметра в системе параметров комплексного параметра, определяемое экспертом;

H_i – собственное численное значение важности параметра рассматриваемого уровня.

Расчет значений H_i и его дочерних параметров осуществляется по методике, аналогичной вышеизложенной для H_n .

Аналогичным образом осуществляется расчет и для параметров более низких уровней.

Рассмотрим в качестве примера задачу выбора цели. В сектор ведения огня одиночного средства поражения одновременно попало несколько целей, которые оно способно поразить. Для того чтобы сделать обоснованный выбор одной из них для обстрела, необходимо ввести параметры, на основании которых данный выбор будет осуществляться. В нашем случае цели будут оцениваться по степени их опасности для объекта моделирования, степени важности, т. е. степени урона войскам противника в случае поражения данной цели, и степени сложности поражения цели объектом моделирования. В свою очередь, каждый из данных комплексных параметров разбивается до уровня таких параметров нижнего уровня, численные значения которых могут быть получены в ходе моделирования.

Рассмотрим пример. В секторе стрельбы огневого средства появляются одновременно три цели: танк, БМП и командно-штабная машина (рисунок 5).



Рисунок 5 – Задача выбора цели для обстрела

Каждая из этих целей характеризуется конкретными значениями определенных ранее параметров, для которых существует возможность их определения в процессе моделирования. Для демонстрации автономной работы модуля принятия решений было разработано вызывающее приложение, позволяющее вручную задавать параметры альтернатив и получать решения при заданной системе предпочтений. В рассматриваемом примере при данных значениях параметров в первую очередь будет обстреливаться БМП противника (рисунок 5), т.к. она находится на расстоянии 500 м и представляет достаточно большую опасность для объекта моделирования по сравнению с КШМ противника, несмотря на большую степень важности данного объекта. Танк не выбран в силу сравнительно большой удаленности. В данной ситуации расстояние до него 1500 м (рисунок 6).

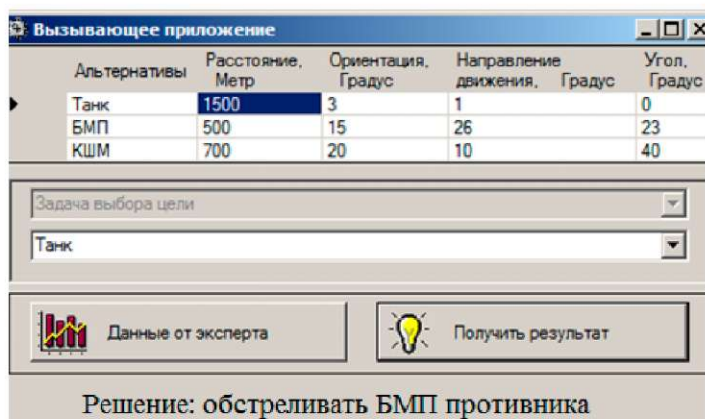


Рисунок 6 – Результат выбора

В том случае, если расстояние до танка уменьшится (рисунок 7), выбранной целью будет являться танк, так как он наиболее опасен (рисунок 8).



Рисунок 7 – Изменение тактической обстановки

Вызывающее приложение				
Альтернативы	Расстояние, Метр	Ориентация, Градус	Направление движения, Градус	Угол, Градус
Танк	800	3	1	0
БМП	500	15	26	23
КШМ	700	20	10	40

Задача выбора цели
Танк

Данные от эксперта Получить результат

Решение: обстреливать танк противника

Рисунок 8 – Результат выбора при изменении параметров

Особенностью разработанной системы является возможность сохранять «файлы опыта» от различных экспертов или должностных лиц.

В перспективе при накоплении достаточного объема базы знаний созданная система принятия решений может использоваться вне системы моделирования либо в качестве системы поддержки принятия решений, либо в качестве полнофункциональной системы автоматического управления.

Таким образом, разработанный модуль принятия решений позволяет воспроизводить управленческую деятельность командира, основываясь на накопленном формализованном опыте.

Список литературы

1. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.
2. Саати, Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях / Т. Саати. – М.: ЛКИ, 2008. – 360 с.

*Сведения об авторах:

Булойчик Василий Михайлович,
 Рутько Евгений Викторович,
 Герцев Андрей Владимирович,
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 11.09.2012 г.

О ПОДХОДЕ К АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТАКТИЧЕСКИМ СОЕДИНЕНИЕМ

УДК 623.618

П. А. Валаханович, В. И. Рухлевич*

Изменение характера вооруженных конфликтов, наметившаяся тенденция к существенному преобразованию форм и способов боевых действий определяют необходимость поиска действенных путей повышения эффективности управления войсками. В статье проведено анализ существующего цикла боевого управления тактического соединения и зависимости его величины от уровня автоматизации задач управления.

The changing nature of armed conflict and the tendency to a significant transformation of forms and methods of combat operations determine the necessity to find good ways of improving the effectiveness of command and control. The article gives extensive analysis of the existing cycle of command and control of tactical formation and of dependency of its size on the management task automation level.

В настоящее время в ведущих государствах мира происходит интенсивное развитие систем управления войсками. Затрачиваются многомиллиардные средства для создания автоматизированных систем управления (АСУ), выполняющих задачи в режиме реального или близкого к реальному времени, и предусматривающих увеличение боевой мощи разнородных группировок войск посредством создания программно-аппаратных комплексов, связывающих в единое целое силы и средства разведки, управления, огневого поражения и обеспечения [1].

Исследованиями установлено [2], что в ходе разработки АСУ имеет место проблема качественного выполнения основного требования к автоматизации задач управления – реализации минимального цикла боевого управления (ЦБУ).

По нашему мнению, ЦБУ – это промежуток времени, в течение которого осуществляется последовательное решение задач управления от момента получения боевой задачи до реализации принятого решения.

Так, ЦБУ тактического соединения (ТС) определяется от момента получения разведывательной информации о выдвигении колонны танков противника в полосе боевых действий ТС до оценки степени поражения данной колонны его силами.

Математически его можно выразить следующей формулой:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{п.з}} + t_{\text{б.д}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{н}}$ – время от момента получения боевого распоряжения (изменения обстановки) до доведения данной информации командиру ТС;

$t_{\text{реш}}$ – время от момента получения информации командиром ТС до момента принятия решения;

$t_{\text{п.з}}$ – время, затрачиваемое на доведение боевых задач до подразделений;

$t_{\text{б.д}}$ – время, затрачиваемое на выполнение боевой задачи и оценку результатов боевых действий.

Рассмотрим общий вариант работы командира и штаба ТС с получением боевой задачи, сущность которого заключается в постоянном сборе данных обстановки, ее анализе, выработке решения, доведения боевых задач до войск с последующим контролем их выполнения. Данный вариант в виде алгоритма работы представлен на рисунке 1.

Соответственно в своей основе работа штаба в ходе управления боевыми действиями связана с выполнением циклически повторяющихся задач: отображением информации на рабочей карте командира соединения, формированием текстовых документов, аналитической обработкой информации по каждой вновь поставленной задаче (изменению обстановки) и реализации результатов аналитической обработки.

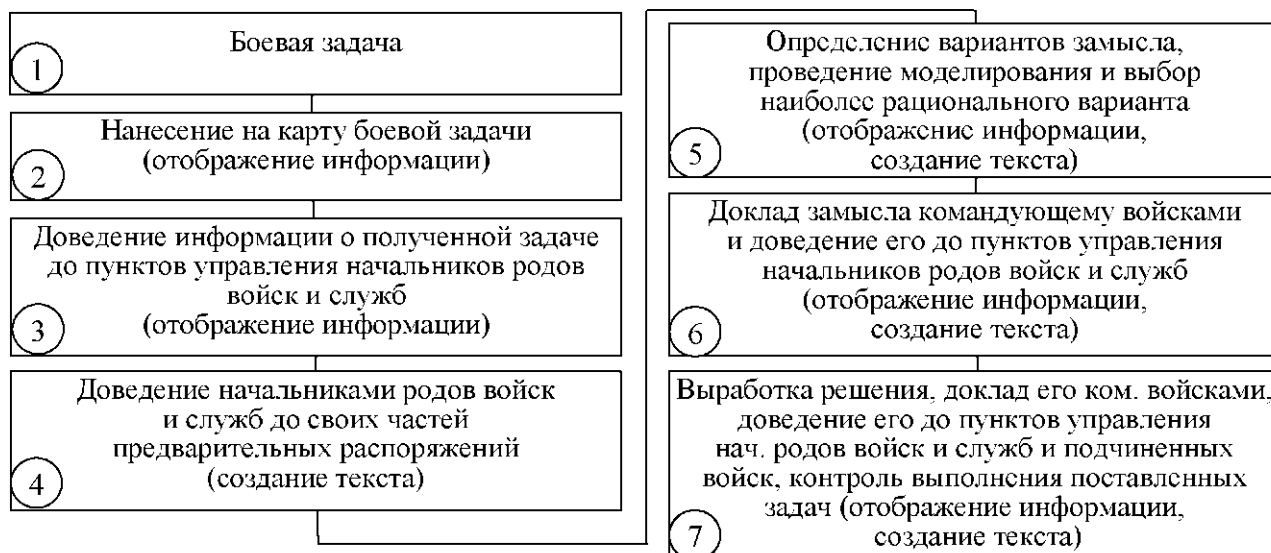


Рисунок 1 – Вариант алгоритма работы командира и штаба ТС с получением боевой задачи

В то же время на основе опыта проведения мероприятий оперативной подготовки установлено [3, 4], что наиболее полно передает информацию об обстановке и наиболее легко и быстро воспринимается человеком для принятия решения именно графическое отображение данных. По этой причине должностными лицами командного пункта (КП) ТС «ручным способом» выполняется значительный объем работ именно с графическими документами: оформление решения, копирование его на карты начальников родов войск и служб (НРВиС), перенос его на карту крупного масштаба, подготовка боевых распоряжений и отчетных документов. Процесс управления по вновь поставленной задаче до отселения (расчета, солдата) включительно начинается, как правило, с получением предварительного боевого распоряжения. Графическое отображение функциональных процессов 1–7 алгоритма работы в каждом звене управления ТС представлено на рисунке 2.

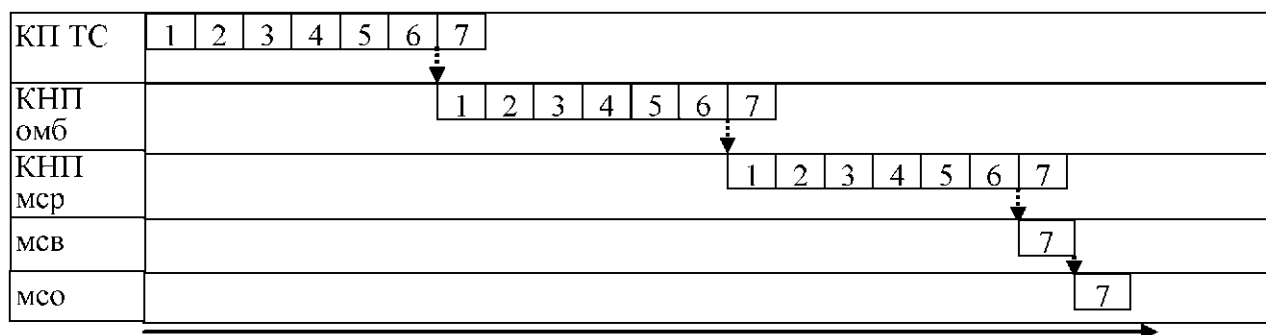


Рисунок 2 – Вариант последовательности выполнения одной боевой задачи в ТС $T_{ц}$

С учетом динамичности изменения тактической обстановки в ходе боя функциональные процессы алгоритма, указанные на рисунке 1, выполняются не последовательно, а в результате поступления очередной информации об изменении обстановки осуществляются параллельно (накладываются друг на друга), что влечет за собой только усложнение организации процесса управления на КП ТС (рисунок 3).

В соответствии с алгоритмом работы должностных лиц ТС значение ЦБУ можно представить в виде

$$T_{ц} = t_{и} - t_{реш\ КП} + t_{п.з\ КП} + t_{реш\ омб} - t_{п.з\ омб} - t_{реш\ мср} + t_{п.з\ мср} - t_{вып.\ б.з} + t_{оц.\ рез} + t_{докл} \quad (2)$$

где $t_{реш\ КП}$, $t_{реш\ омб}$, $t_{реш\ мср}$ – время от момента получения информации до момента принятия решения соответственно на КП ТС, КНП омб и мср;

$t_{п.з\ КП}$, $t_{п.з\ омб}$, $t_{п.з\ мср}$ – время, затрачиваемое на доведение боевых задач до подчиненных из КП ТС, КНП омб, мср;

$t_{вып.\ б.з}$ – время, затрачиваемое на выполнение боевой задачи;

$t_{\text{оц. рез}}$ – время, затрачиваемое на оценку результатов боевых действий;

$t_{\text{докл}}$ – время, затрачиваемое на доклад командиру ТС по оценке выполнения боевой задачи расчетом (отделением, боевым средством).

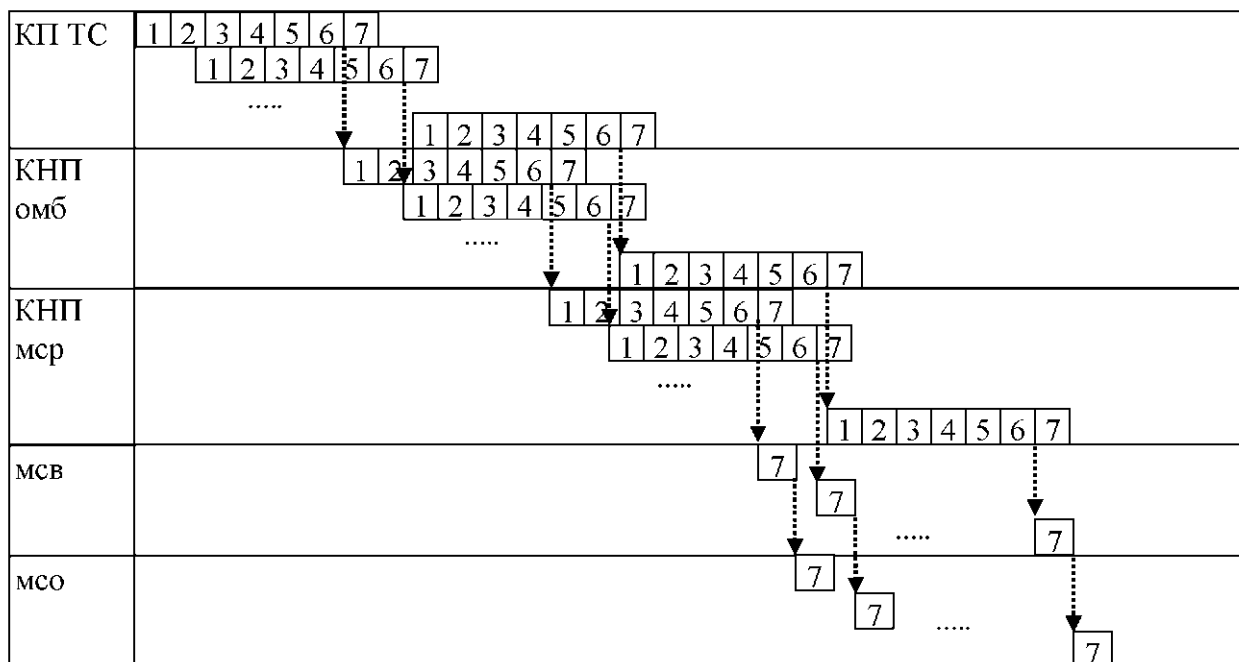


Рисунок 3 – Вариант последовательности выполнения боевых задач в ТС

Учитывая вышеперечисленное, на КП ТС и во всех его звеньях управления при анализе изменяющейся обстановки осуществляется проведение циклически повторяющихся функциональных процессов: нанесение (отображение информации) данной обстановки на карту командира, доведение данной информации до НРВиС (отображение информации), подчиненных подразделений (формирование текстовых документов) и анализ обстановки в ходе рассмотрения вариантов применения подчиненных войск (отображение информации и формирование текстовых документов).

Анализ составляющих таблицы 1 [5, 6] показывает, что значение ЦБУ ТС при классическом варианте управления может составлять более 12 часов (без учета времени на выполнение боевой задачи) при полной загрузке офицеров всех звеньев управления (только по одной поставленной задаче из всего потока задач).

Что касается боевой работы с использованием классического варианта управления (по бумажной карте), вопросов не возникает, так как другого способа целенаправленной деятельности командования ТС в настоящее время не существует.

Таблица 1 – Примерные временные показатели ЦБУ по уровням управления ТС

Этапы управления	Выполняемые мероприятия	Время выполнения, минут				
		КП ТС	омб	мср	мсв	мсо
Определение замысла	Уяснение задачи	20	10	8	5	3
	Ориентирование должностных лиц	10	5	4	3	2
	Отдача предварительных распоряжений	15	10	–	–	–
	Оценка обстановки, определение замысла	70	30	15	–	–
	Отдача предварительных боевых распоряжений	30	15	–	–	–
Выработка решения	Завершение принятия решения	150	70	30	–	–
	Определение задач в/ч, подразделениям	40	20	15	10	5
	Доклад решения	30	15	7	–	–
Указания по планированию боевых действий		15	5	3	–	–

Окончание таблицы 1

Этапы управления	Выполняемые мероприятия	Время выполнения, минут				
		КП ТС	омб	мсп	мсв	мсо
Рассмотрение и утверждение планирующих документов		50	20	–	–	–
Итого на планирование по уровням ТС		430	200	82	18	10
Всего на планирование в ТС		740				

Как показывают результаты исследований [2], при реализации автоматизации задач управления существенно возрастает оперативность в работе и обеспечивается значительное сокращение времени на выполнение самых трудоемких и непроизводительных работ, выполняемых офицерами штабов вручную по сбору, обработке, отображению и обмену информацией (отображение информации и формирование текстовых документов).

Проведенный анализ опыта создания единой системы управления тактического звена (ЕСУ ТЗ) в Российской Федерации показывает, что постановка задач предприятиям промышленности по созданию ЕСУ ТЗ производилась без учета возможностей современных технических средств и технологий.

Анализ применения ЕСУ ТЗ в ходе учений последних лет [7–10] показывает, что в системе реализовано применение старых алгоритмов работы командира и штаба. С одновременным использованием новых автоматизированных средств управления это не только не дает требуемого эффекта по выигрышу времени (уменьшению $t_{\text{реш}}$, $t_{\text{п.з}}$ ЦБУ в каждом звене управления (2)), но зачастую уступает способам решения аналогичных управленческих задач в чисто «ручном» режиме работы.

Несмотря на наличие технических средств, существенного сокращения ЦБУ не происходит по причине реализации устоявшегося, классического алгоритма работы штаба в ходе управления боевыми действиями. На электронную карту командира наносится, отображается и постоянно редактируется огромное количество топографических знаков, определенных в соответствии с [11]. Обыкновенный анализ их количества [12] на решении командира батальона армии США и командира батальона ТС показывает их превышение в разы на карте последнего, что вызывает ряд вопросов:

1. Насколько необходимо постоянно отображать (и соответственно редактировать) такое их количество или можно ограничиться наиболее значимыми знаками?
2. Какое решение (обстановка) проще для восприятия?
3. При каком подходе в выполнении рутинной работы по отображению (переносу) информации будет меньше ЦБУ?

В целях исключения ошибок, допущенных при создании ЕСУ ТЗ, на этапе подготовки к реализации автоматизации процесса управления в ТС необходимо оптимизировать:

количество и содержание разрабатываемых документов (в сторону уменьшения);

алгоритм работы должностных лиц ТС в ходе управления боем с определением минимально необходимой информации, отображаемой на электронной карте основного масштаба, а также информации, необходимой для отображения при укрупнении масштаба карты.

В связи с вышеизложенным предлагается следующий подход к автоматизации задач управления ТС, реализующий минимальный ЦБУ:

1. Отображение графической информации на электронной карте с учетом привязки на местности (координат) и передача информации об изменении обстановки в виде кодов тактических знаков, а не всего слоя карты целиком или знака.

2. Удобство в нанесении тактических знаков, при необходимости – в пояснении (детализации) обстановки с использованием формуляров, таблиц.

3. Реализация многопользовательского доступа к информации в единой распределенной сети, в ходе которого должностным лицам каждого уровня управления ТС и взаимодействующих войск исходя из прав доступа доводится информация, в части, их касающейся.

4. Отображение на каждом уровне управления необходимой информации, позволяющей принимать решение по изменяющейся обстановке (на карте своего масштаба) и осуществлять детализацию обстановки при увеличении масштаба электронной карты.

5. Простота в определении свойств документа, наличие электронной подписи.

Применение подхода к автоматизации задач управления приведет к сокращению ЦБУ за счет значительного уменьшения времени на выполнение каждой его составляющей на всех уровнях управления ТС и снижению затрачиваемых усилий должностными лицами в ходе управления боевыми действиями.

Отрадно отметить, что научные работники высшей квалификации Республики Беларусь придадут большое значение исследованиям по изложенному вопросу. В частности, предложенный подход частично реализован в ходе создания макета программно-аппаратного комплекса объединенной системы навигации, связи и опознавания, предназначенного для повышения ситуационной осведомленности, качества, оперативности и эффективности управления подразделениями отдельного механизированного батальона. В то же время жизнь показывает необходимость скорейшего внедрения данных исследований в практику управления войсками.

Список литературы

1. Сиявский, В. К. Влияние содержания и принципов «сетевидной войны» на управление войсками (силами) / В. К. Сиявский // Наука и воен. безопасность. – 2010. – № 4.

2. Отчет по результатам исследований влияния комплексов средств автоматизации на эффективность боевого применения Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны / ГШ ВС. – Минск, 2006.

3. Отчет по результатам исследований, проведенных в ходе комплексного оперативного учения Вооруженных Сил Республики Беларусь в период с 15 по 21 октября 2008 г. / НИИ ВС РБ. – Минск, 2008.

4. Отчет по результатам исследований, проведенных в ходе оперативно-стратегического учения «Запад-2009» в период с 18 по 29 сентября 2009 г. / НИИ ВС РБ. – Минск, 2009.

5. Сиявский, В. К. Пути реализации задач управления ракетными войсками и артиллерией в комплексах средств автоматизации / В. К. Сиявский // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 2.

6. Отчет о проведении анализа документов, разработанных в ходе проведения командно-штабного учения Вооруженных Сил «Щит Союза-2006» / НИИ ВС РБ. – Минск, 2007.

7. Бой в цифровом формате // Красная звезда. – [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.redstar.ru/2010/10/27_10/2_01.html.

8. Новые черты общевойскового боя // Красная звезда. – [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.redstar.ru/2010/11/03_11/2_03.html.

9. Мохов, В. В тактическом звене / В. Мохов, Н. Донюшкин // Красная звезда. – 2010. – № 226.

10. Пришел, увидел, поразил... // Красная звезда. – [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.redstar.ru/2010/11/17_11/2_07.html.

11. Руководство по службе тактических штабов. – М., 2005.

12. Сиявский, В. К. Отдельные проблемы автоматизации процессов управления войсками и пути их решения / В. К. Сиявский, П. А. Валаханович // Наука и воен. безопасность. – 2012. – № 3.

*Сведения об авторах:

Валаханович Павел Анатольевич,

ГВТУП «Белспецвнштехника»;

Рухлевич Валентин Иванович,

ГУ «НИИ ВС РБ».

Статья поступила в редакцию 04.01.2013 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ В МИРОТВОРЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ

УДК 355.4

А. Ф. Гременок, В. Б. Сагун*

В статье рассматриваются взгляды на миротворческую деятельность, показаны основные этапы в развитии подходов к осуществлению миротворческих функций, выделены типы и цели миротворческой деятельности.

In the article the aspects of peacemaking activity are considered, the main stages of development of approaches to implementation of peacemaking functions are revealed, the types and the aims of peacemaking activity are singled out.

Происшедшие в мире в конце XX века глобальные изменения привели к кардинальной перестановке сил на международной арене, а также способствовали уточнению основополагающих подходов международного сообщества к проблемам международной безопасности, в том числе и к международной миротворческой деятельности (МТД).

Прекращение «холодной войны» совпало с активизацией международных миротворческих усилий, что было вызвано ростом взаимопонимания и возможностей согласования позиций постоянных членов Совета Безопасности (СБ). При этом повышение общего уровня нестабильности в мире было вызвано крушением прежней системы международных отношений. Также возросла и сложность задач, решаемых миротворческими силами. Ранее применяемые подходы к урегулированию конфликтных ситуаций перестали удовлетворять современным требованиям к МТД, вследствие чего возникла необходимость определения путей повышения их эффективности.

В настоящее время выделяют ряд этапов в развитии подходов к осуществлению миротворческой деятельности [1].

Этап 1 (1948–1956 гг.)

Планирование и организация двух миротворческих операций, которые продолжаются до настоящего времени, в рамках которых были образованы:

миссия Организации Объединенных Наций (ООН) по наблюдению за выполнением условий перемирия, созданная в 1948 г. для наблюдения за соглашением о прекращении огня между Израилем и соседними арабскими государствами;

группа военных наблюдателей ООН в Индии и Пакистане, созданная в 1949 г. для наблюдения за линией разграничения между двумя этими странами.

В ходе данного этапа впервые были апробированы подходы к учреждению миссий по наблюдению за прекращением огня.

Этап 2 (1956–1967 гг.)

В рамках рассматриваемого этапа проходило возрастание напряженности в отношениях двух основных военно-политических блоков – ОВД и НАТО. Политика ядерного сдерживания, проводившаяся СССР и США, вынуждала их искать взаимоприемлемые компромиссы для недопущения чрезмерного напряжения двусторонних отношений и предотвращения конфликтных ситуаций в регионах, которые могли бы угрожать разрастанием военного конфликта до глобальных размеров.

Так, впервые были сформированы миротворческие силы (МТС) ООН в целях прекращения огня и поддержания международного мира, для чего были учреждены Чрезвычайные силы ООН на Синайском полуострове, осуществлена операция ООН в Конго, созданы силы ООН по сохранению мира на Кипре, а также четыре миссии наблюдателей: в Ливане, Йемене, Доминиканской Республике и на индо-пакистанской границе. При этом отработывался механизм давления на противоборствующие стороны с целью создания необходимых условий для проведения переговоров и/или посредничества, нацеленных на мирное урегулирование конфликтов.

Этап 3 (1967–1973 гг.)

Этот этап характеризовался ожесточенным соперничеством военно-политических группировок Западной и Восточной Европы, что привело к уменьшению масштабов МТД под эгидой ООН. Вследствие этого не было организовано ни одной новой миротворческой операции (МТО) и только три из ранее учрежденных продолжали действовать.

Этап 4 (1973 – начало 1990-х гг.)

Миротворческая деятельность вновь стала рассматриваться в качестве средства, способного обеспечить контроль и/или наблюдение за развитием обстановки в случае кризисного развития конфликтных ситуаций.

Этот этап характеризовался тем, что МТО предпринимались с согласия заинтересованных сторон, а МТО проводились контингентами вооруженных сил небольших государств, нейтральных по отношению к конфликту. В качестве целей МТО превалировали восстановление спокойствия, содействие прекращению боевых действий в сочетании с осуществлением мер по росту доверия между сторонами конфликта. Участие военнослужащих в этих операциях сводилось, как правило, к двум формам: выделение военнослужащих на индивидуальной основе в состав наблюдательных миссий и выделение отдельных подразделений национальных вооруженных сил (ВС) в состав МТС.

Этап 5 (начало 1990-х гг. – настоящее время)

Расцвет МТД ООН (почти три четверти всех МТО ООН были развернуты после 1991 г). Большинство вооруженных конфликтов происходят не между отдельными государствами, а между государствами и негосударственными структурами либо внутри самих государств. По степени накала и числу жертв подобные вооруженные конфликты не уступают, а иногда и превосходят «традиционные» войны. В итоге Совет Безопасности стал учреждать более крупные и сложные миссии ООН по поддержанию мира, зачастую предназначенные для оказания помощи в выполнении всеобъемлющих мирных соглашений между участниками внутригосударственных конфликтов.

Однако за время существования ООН механизм для предварительной подготовки, организации и контроля за МТО с участием военного персонала так и не был создан. По каждой операции выносилось отдельное решение, создавался свой механизм управления МТД. Поэтому в настоящее время отсутствуют четкие критерии деятельности МТС, сам термин «миротворчество» не отражен в Уставе ООН. Во многом политика в области миротворчества формируется на базе существующих прецедентов и в рамках ограничений, накладываемых Уставом ООН.

На современном этапе реальная практика миротворчества базируется на идее более тесной координации политических и военных мер, наращивания возможностей участия в урегулировании конфликтных ситуаций с использованием комплексного подхода на базе правовых норм, заложенных в Уставе ООН. Это подразумевает, что в основу принятия решений по МТД закладываются военные полномочия для акций, которые должны предприниматься в случае нарушения состояния мира и актов агрессии.

В разряд таких акций могут быть отнесены, например, операции по поддержанию мира, типа операции ООН в Намибии. Такая форма миротворческой деятельности подразумевает возможность использования оружия при проведении операций по поддержанию мира в целях самообороны.

Также предусматривается за ООН право на принудительные действия в отношении агрессора, что, по существу, может рассматриваться как возложение на ООН ответственности по инициированию войны против агрессора (например, война в Персидском заливе, так как ООН санкционировала использование военной силы против Ирака). Как промежуточный вариант рассматривается также возможность осуществления операций, которые предусматривают более широкие военные полномочия, но все же имеют более ограниченный характер.

Наиболее вероятно, что подавляющее количество МТО в обозримом будущем будет проводиться ООН, однако есть целый ряд других международных институтов, которые могут решать и уже решают подобные задачи (НАТО, Организация африканского единства,

Организация американских государств, Лига арабских стран, ОБСЕ и др.). Кроме того, ООН может принять решение поручить проведение конкретной операции по обеспечению мира одной из международных организаций.

Исходя из целей МТО, использования или неиспользования военной силы и задач, которые могут возлагаться на привлекаемые воинские контингенты, существует несколько подходов к классификации миротворческих операций. В соответствии с этим выделяется пять основных типов МТД: превентивная дипломатия, установление мира, поддержание мира, принуждение к миру и миростроительство [2, 4].

Превентивная дипломатия – это действия, направленные на ослабление напряженности до того, как эта напряженность перерастет в конфликт, или, если конфликт начался, принятие незамедлительных мер по его сдерживанию и устранению причин, лежащих в его основе. Превентивная дипломатия требует осуществления мер, направленных на установление доверия. В рамках превентивной дипломатии могут участвовать и ВС. Концепция предусматривает возможность превентивного развертывания сил ООН и, в ряде случаев, создание демилитаризованных зон. Вместе с тем превентивное развертывание по характеру осуществляемых действий и задач, которые ставятся вооруженным контингентам, перекликается с аналогичными действиями и задачами, осуществляемыми в рамках МТО ВС по поддержанию мира.

Установление мира применяется к возникшим конфликтам и имеет своей целью попытку остановить их с использованием инструментов дипломатии и посредничества, привести к согласию враждующие стороны, главным образом с помощью переговоров, посредничества, примирения, добрых услуг, арбитража и других мирных (невоенных) средств, предусмотренных в главе VI Устава ООН. Осуществляется все это политиками, дипломатами, видными общественными и государственными деятелями, представителями Генерального секретаря ООН.

Лица, занимающиеся установлением мира, могут быть посланниками правительств, групп государств, региональных организаций или Организации Объединенных Наций, либо они могут представлять неофициальные и неправительственные группы, как это было, например, в случае переговоров, приведших к мирному соглашению для Мозамбика. Установление мира может быть работой одного известного лица, действующего самостоятельно [5].

Поддержание мира предполагает проведение соответствующих операций с использованием военных наблюдателей, многонациональных вооруженных сил, миротворческих сил государств – членов ООН или государств – членов региональных соглашений. Эти операции должны обеспечивать соблюдение условий прекращения огня и разъединения сил уже после заключения соглашения о перемирии. В документах ООН они обычно определяются следующим образом: «Операция по поддержанию мира – это действия с участием военнослужащих, не имеющих права прибегать к использованию принудительных мер, предпринимаемых Объединенными Нациями в целях поддержания или восстановления международного мира и безопасности в районе конфликта». Для проведения операции требуются добровольное согласие и сотрудничество всех заинтересованных сторон.

В соответствии с перечисленными признаками к операции по поддержанию мира можно отнести действия вооруженных сил ООН на Кипре с марта 1964 г., в Кот-д'Ивуаре с апреля 2004 г., в Гаити с июня 2004 г., в Судане с марта 2005 г., в Либерии с сентября 2003 г.

Принуждение к миру является формой боевого вооруженного вмешательства или его физической угрозы. Оно может проводиться с целью заставить участников конфликта согласиться с международными санкциями или резолюциями. В программном документе ООН «Повестка дня для мира», определившем концептуальный подход международного сообщества к современному миротворчеству, принуждение к миру не рассматривается в контексте миротворчества, однако в более поздних официальных документах ООН принуждение к миру уже присутствует в этом качестве. Такое изменение вызвано в первую очередь позицией развитых стран Запада, и прежде всего США, что отражает их традиционную склонность к

использованию или угрозе применения силы для достижения военно-политических целей [5].

Примерами принуждения к миру являются: операция многонациональных сил против Ирака, вторгшегося на территорию Кувейта в 1991 г.; действия в Сомали в 1992–1993 гг.; принуждение к миру Грузии в войне с С. Осетией миротворцами России в августе 2008 г.

Миростроительство предполагает постконфликтную деятельность (в том числе с участием вооруженных сил) в целях устранения причин конфликта и восстановления нормальной жизни. Миростроительство включает разоружение и реинтеграцию бывших комбатантов в гражданское общество, восстановление разрушенных в ходе конфликта экономических, общественно-политических, коммуникационных и иных структур, возвращение беженцев и перемещенных лиц, укрепление правопорядка (например, через подготовку кадров и реформирование структуры местной полиции, проведение реформ судебной и пенитенциарной систем), обеспечение соблюдения прав человека, оказание технической помощи в демократическом развитии, а также поощрение мирных методов урегулирования конфликтов, ликвидации причин и условий их возобновления [5].

На основе анализа основных типов МТД можно определить возможные цели миротворческой деятельности вооруженных сил (рисунок 1) [4].

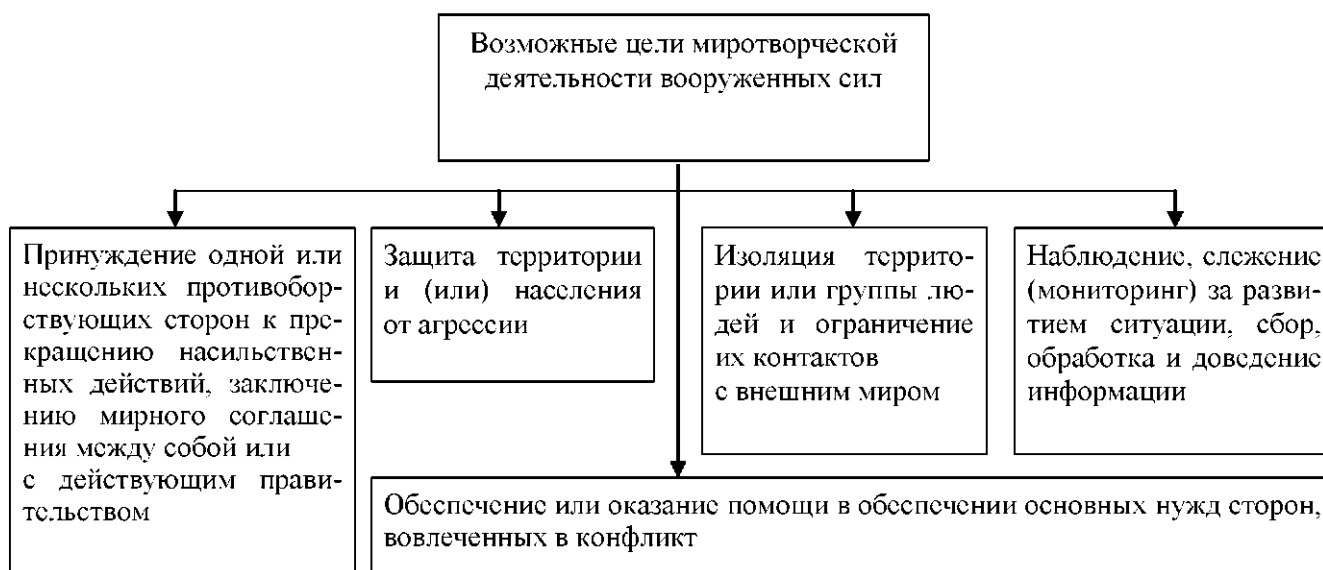


Рисунок 1 – Возможные цели миротворческой деятельности вооруженных сил

Исходя из целей МТД можно определить основные задачи, выполнение которых в рамках МТО может быть поручено контингентам вооруженных сил (рисунок 2) [6].

Все эти задачи уже решались или решаются в ходе МТО или их решение представляется весьма вероятным в будущих операциях. Однако, как показывает практика, решение некоторых из этих задач требует очень тщательной проработки планов осуществления операций, чрезвычайной сбалансированности подходов. Например, в ходе операций ООН в бывшей Югославии были отмечены случаи использования гуманитарных конвоев для доставки вооружения и боеприпасов противоборствующим сторонам (мусульманам и хорватам), «прозрачность» контролируемых ООН территорий способствовала выдвижению претензий со стороны сербов о намеренном поощрении незаконных поставок оружия мусульманам Боснии и Герцеговины и т. п. Все это показывает, что механизм реализации задач, стоящих перед воинскими контингентами, участвующими в миротворческих операциях, требует дальнейшего совершенствования и усиления правовой базы использования вооруженных сил не только в плане мер воздействия по отношению к противоборствующим сторонам, но и ответственности за существующие нарушения со стороны воинских подразделений, привлекаемых для осуществления миротворческих миссий.



Рисунок 2 – Основные задачи, выполнение которых в рамках МТО может быть поручено контингентам вооруженных сил

Что касается принудительного разъединения воюющих сторон, то решение этой задачи фактически выводит миротворческую деятельность на уровень «боевых» операций и является отражением отказа от традиционного подхода в использовании миротворческими контингентами исключительно легкого вооружения и только для целей самозащиты. Подобные операции принуждения к миру расширяют возможности урегулирования конфликтных ситуаций, но несут в себе опасность потери миротворческими силами статуса беспристрастного арбитра.

В настоящее время в ООН идет активная проработка новых подходов к формированию воинских контингентов для миротворческих операций, а также возможности создания постоянного военного контингента в распоряжении этой организации. При этом нельзя исключать попытки определенных сил в исполнительных структурах ООН вывести подобные силы из-под непосредственного управления СБ, напрямую подчинив их Генеральному секретарю ООН.

Другим возможным направлением в изменении принципов формирования миротворческих контингентов может стать воплощение концепции создания «резервных сил» ООН. Важным моментом данной концепции является то, что, в случае ее принятия, существенно возрастает роль Генерального секретаря и исполнительных структур ООН по выбору воинских контингентов из числа тех, которые в соответствии с предварительно заключенными соглашениями выделяются национальными правительствами в состав «резервных сил».

Таким образом, с изменением геополитической и военно-стратегической обстановки в мире участие государств, блоков, государственных и общественных структур в деятельности по предотвращению, локализации или урегулированию международных конфликтов выдвигается в ряд приоритетных направлений их внешней и военной политики.

Современный этап развития в международной миротворческой деятельности тесно связан с трансформацией всей системы международных отношений в эпоху после «холодной войны». Этот процесс сопровождается пересмотром как практики задействования ВС в МТО, так и изменением подходов в трактовке основных нормативно-правовых актов, регламентирующих эту деятельность. За почти 50-летнюю историю ООН в ее рамках сформировалась

общепризнанная концепция использования ВС в миротворческих операциях в целях урегулирования кризисных и конфликтных ситуаций. Однако накопленный опыт свидетельствует и о том, что механизм миротворчества еще не налажен в полной мере, в частности, недостаточно отработанными остаются вопросы процедурного согласования использования военной силы МТО, организации взаимодействия ООН с региональными организациями и отдельными странами и др.

Одним из распространенных методов работы ООН в данном плане является так называемое силовое миротворчество с использованием формирований национальных ВС, объединяемых в многонациональные контингенты войск ООН, а также института офицеров (наблюдателей), действующих под эгидой этой международной организации.

Опыт силового миротворчества свидетельствует о том, что проблема легитимности принятия решения о вмешательстве оказывается на втором плане, в то время как на первый выходят организационные, финансовые, материально-технические и тому подобные вопросы. В связи с этим, видимо, и в перспективе практика такого миротворчества во многом будет определяться не столько наличием разработанного «кодекса вмешательства», сколько согласованной в деталях и закрепленной в форме процедурой принятия решений, формированием постоянного военного контингента в распоряжении ООН или какой-либо региональной организации, действующей самостоятельно, или под покровительством (с санкции) ООН.

Республика Беларусь наряду с другими членами ООН несет значительную моральную ответственность за организацию и практику осуществления учреждаемых этой организацией миротворческих операций. Несмотря на то, что гражданский персонал и военнослужащие-миротворцы не принимают участия в МТД за пределами республики, предлагаемые в статье материалы могут быть использованы при подготовке миротворческих подразделений и в учебном процессе военно-учебных учреждений.

Список литературы

1. Операции ООН по поддержанию мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/>.
2. Заемский, В. Ф. Современные проблемы миротворческой деятельности ООН / В. Ф. Заемский. – М.: Международные отношения, 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.globalaffairs.ru/book/n_12063.
3. Устав Организации Объединенных Наций и Статут Международного Суда: United Nations Department of Public Information, – 1984.
4. Общие руководящие принципы операций по поддержанию мира. – Нью-Йорк: Департамент операций по поддержанию мира Секретариата ООН, 1995.
5. Доклад Группы по операциям ООН в пользу мира / A/55/305 – S/2000/809 от 21.08.2000.
6. Наставление по подготовке и проведению операций по поддержанию мира в Содружестве Независимых Государств: штаб по координации военного сотрудничества государств – участников СНГ. – М., 1997. – С. 3–5.

* Сведения об авторах:

Грмеснок Анатолий Феликсович,

Сагун Виктор Борисович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 28.02.2013 г.

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ГОТОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

УДК 623.437

С. Н. Гончаревич*

В статье рассмотрена методика и показатели оценки состояния автомобильной техники. Определены основные этапы обеспечения готовности и предложен новый подход к оценке готовности автомобильной техники воинских частей к использованию по назначению.

In article the technique and indicators of estimation automobiles condition is considered. Basic stages of maintaining readiness are defined and a new approach to the estimation of readiness of automobiles military units' for proper use is offered.

Основной задачей автомобильной техники (АТ) в Вооруженных Силах Республики Беларусь (ВС РБ) в настоящее время является обеспечение оперативной и тактической подвижности войск и подвижности образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) [1]. АТ является наиболее массовым видом средств обеспечения подвижности ВВСТ и основной группой ВВСТ в ВС РБ [2]. От ее состояния в значительной степени зависит боевая готовность воинских частей видов ВС и родов войск. Современные боевые системы (комплексы вооружения) ВВСТ представляют собой отдельную единицу либо их сочетание в рамках некоторой организационно-штатной структуры войск. Поэтому наличие в строю исправной АТ, обеспечивающей подвижность современных образцов ВВСТ, ее техническое состояние и возможности определяющим образом влияют на боеспособность войск и их маневренные возможности.

Известно, что готовность АТ к использованию по назначению определяется исправностью, надежностью, наличием подготовленного экипажа (водителя), укомплектованностью положенными запасными частями, инструментом, приспособлениями, светомаскировочными устройствами, заправкой горючим, смазочными и другими эксплуатационными материалами, необходимыми для выполнения предстоящей задачи [3].

Решающая роль в обеспечении высокой степени боевой готовности ВВСТ в мирное время отводится не только уровню подготовленности личного состава и надежности образцов АТ, но и комплексу мероприятий по своевременному и качественному обслуживанию, контролю технического состояния и содержанию на хранении, использованию по прямому назначению. При этом комплекс мероприятий по поддержанию АТ воинской части в установленной степени готовности должен обеспечивать готовность АТ с высокой степенью эффективности к выполнению задач по предназначению, а также удовлетворять в полной мере потребности боевой подготовки личного состава воинских частей в моторесурсах АТ для качественного освоения ВВСТ.

Анализ применяемых в настоящее время методик оценки готовности АТ [3, 4] показал, что используемые методический подход и математический аппарат оценки недостаточно совершенны и не в полной мере удовлетворяют современным требованиям. Для определения готовности АТ воинских частей используются коэффициент укомплектованности АТ (K_{AT}) и коэффициент технической готовности АТ (K_{TT}), отражающие цели поддержания АТ воинской части в постоянной готовности к использованию по назначению, а именно:

наличие в строю исправных, готовых к использованию (применению по предназначению) образцов АТ;

укомплектованность АТ, АИ, эксплуатационной документацией, подготовленным личным составом, способным реализовать возможности АТ.

Коэффициент K_{AT} укомплектованности АТ воинской части определяется из следующего выражения:

$$K_{\text{АТ}} = \frac{N_{\text{спис}}}{N_{\text{шт}}},$$

где $N_{\text{спис}}$ – количество АТ по списку;

$N_{\text{шт}}$ – количество АТ по штату.

Коэффициент $K_{\text{ГТ}}$ технической готовности АТ воинской части рассчитывается по формуле

$$K_{\text{ГТ}} = \frac{N_{\text{испр}}}{N_{\text{спис}}},$$

где $N_{\text{испр}}$ – количество исправной АТ;

$N_{\text{спис}}$ – количество АТ по списку.

Коэффициент $K_{\text{испр}}$ укомплектованности исправной АТ определяется из следующего выражения:

$$K_{\text{испр}} = K_{\text{АТ}} K_{\text{ГТ}},$$

где $K_{\text{АТ}}$ – укомплектованность АТ воинской части;

$K_{\text{ГТ}}$ – коэффициент технической готовности АТ воинской части.

Запас хода образца АТ рассчитывается по формуле

$$S_{\text{ЗХ}} = S_{\text{рем}} - S_{\text{факт}},$$

где $S_{\text{рем}}$ – норма межремонтного пробега образца АТ;

$S_{\text{факт}}$ – фактический пробег образца АТ.

Коэффициент $K_{\text{вод}}$ укомплектованности водителями воинской части рассчитывается по формуле

$$K_{\text{вод}} = \frac{K_{\text{вод. сп}}}{N_{\text{спис}}},$$

где $K_{\text{вод. сп}}$ – списочное число водителей;

$N_{\text{спис}}$ – количество АТ воинской части по списку.

Существующая методика оценки состояния готовности АТ основана на упрощенном подходе, который заключается в расчете показателей готовности АТ, позволяющих оценить только укомплектованность АТ и ее техническое состояние в момент проверки, а не готовность (способность) АТ воинских частей к выполнению задач по предназначению, что имеет решающее значение при оценке готовности АТ к применению по назначению.

В мирное время эксплуатация образцов АТ осуществляется в интересах решения двуединой задачи, носящей противоречивый характер. С одной стороны, необходимо обеспечить высокий уровень боевой готовности средств подвижности ВВСТ, что достигается обеспечением технической готовности АТ, рациональным расходом моторесурсов, а также требуемый уровень подготовки войск, что достигается за счет использования образцов АТ в ходе боевой подготовки. С другой стороны, необходимо обеспечить организованное и своевременное приведение в боееспособное состояние воинских частей в любых условиях обстановки.

Количество образцов АТ, готовых к использованию по назначению $N_{\text{БГ}}$, находится в зависимости от укомплектованности воинской части АТ, водителями, ограничивается технической готовностью АТ, запасом хода АТ и является функцией, зависящей от нескольких параметров [8]:

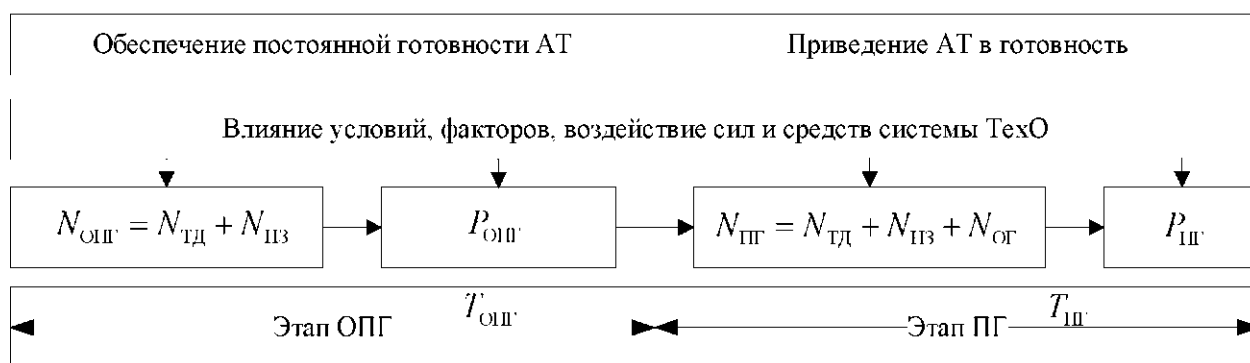
$$N_{\text{Ы}} = f K_{\text{АТ}}, K_{\text{П}}, K_{\text{испр}}, S_{\text{ЗХ}}, K_{\text{АИ}}, K_{\text{вод}}, K_{\text{рем}}, T'_{\text{восст}}, W_{\text{РВО}}, T'_{\text{гот}},$$

где $K_{\text{АТ}}$ – коэффициент укомплектованности АТ;
 $K_{\text{П}}$ – коэффициент технической готовности АТ;
 $K_{\text{испр}}$ – коэффициент укомплектованности исправной АТ;
 $S_{\text{ЗХ}}$ – установленный запас хода АТ;
 $K_{\text{АИ}}$ – коэффициент укомплектованности АИ;
 $K_{\text{вод}}$ – коэффициент укомплектованности водителями;
 $K_{\text{рем}}$ – коэффициент укомплектованности ремонтниками, специалистами РВО;
 $T'_{\text{восст}}$ – продолжительность восстановления неисправной АТ;
 $W_{\text{РВО}}$ – производственные возможности РВО;
 $T'_{\text{гот}}$ – требуемый период времени нахождения АТ в готовности к использованию по назначению.

В предлагаемом подходе к оценке готовности АТ воинских частей к использованию по назначению выделены два основных этапа (рисунок), для которых необходимо произвести оценку эффективности проводимых мероприятий:

первый – обеспечение постоянной готовности АТ к использованию по назначению (ОПГ), в течение которого осуществляется комплекс работ, установленных в эксплуатационной и ремонтной документации и направленных на поддержание образцов АТ в установленной степени готовности;

второй – приведение АТ в готовность к использованию по назначению (ПГ), включающий в себя комплекс установленных в документации по эксплуатации работ, связанных с приведением образцов АТ в работоспособное состояние и исходное для последующих действий положение.



$P_{\text{ОПГ}}$ – вероятность исправного состояния АТ в ходе первого этапа; $T'_{\text{ОПГ}}$ – продолжительность первого этапа; $P_{\text{ПГ}}$ – вероятность исправного состояния АТ в ходе второго этапа;
 $T'_{\text{ПГ}}$ – продолжительность второго этапа; $N_{\text{ОПГ}}$ – количество АТ в ходе первого этапа;
 $N_{\text{ПЗ}}$ – количество АТ неприкосновенного запаса; $N_{\text{ТД}}$ – количество АТ текущего довольствия;
 $N_{\text{ОР}}$ – количество АТ приписанной АТ организаций и граждан

Рисунок – Этапы обеспечения готовности АТ к использованию по назначению

Так как этапы обеспечения готовности АТ к использованию по назначению тесно взаимосвязаны, вероятность своевременного приведения АТ воинской части в готовность в соответствии с теоремой умножения вероятностей сложных событий [5] будет равна

$$P_{\text{гот}}(T'_{\text{гот}}) = P_{\text{ОПГ}}(T'_{\text{ОПГ}})P_{\text{ПГ}}(T'_{\text{ПГ}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{ОПГ}}(T'_{\text{ОПГ}})$ – вероятность исправного состояния АТ в конце этапа обеспечения готовности;

$P_{\text{ПГ}}(T'_{\text{ПГ}})$ – вероятность исправного состояния АТ в конце этапа приведения в готовность к использованию по назначению.

Приведение АТ в готовность к использованию по назначению характеризуется вероятностью того, что образцы АТ смогут быть подготовлены экипажами (водителями) к выходу из парка за время $T_{\text{ПГ}} \leq T_{\text{норм}}$ [6]:

$$P_{\text{ПГ}}(T_{\text{ПГ}} \leq T_{\text{норм}}) = P(T_{\text{ПГ}} \leq T_{\text{норм}}) + 1 - P_{\text{ПГ}}(T_{\text{восст}}) \quad (2)$$

где $P(T_{\text{ПГ}} \leq T_{\text{норм}})$ – вероятность подготовки АТ за время, не превышающее срок готовности воинской части;

$P(T_{\text{восст}})$ – вероятность подготовки АТ при возникновении отказов, предусмотренная нормативами для восстановления АТ.

Вероятность своевременного приведения АТ воинской части в готовность составит

$$P_{\text{гот}}(T_{\text{гот}}) = P_{\text{ОИП}}(T_{\text{ОИП}})P(T_{\text{ПГ}} \leq T_{\text{норм}}) + 1 - P_{\text{ПГ}}(T_{\text{восст}}) \quad (3)$$

В уравнении (3) первый член правой части характеризует подготовку исправной АТ, а второй – АТ, на которой возникли отказы, нарушающие функцию движения, с учетом того, что допустимое время устранения неисправностей составляет $T_{\text{восст}}$ [7].

Анализ формул (1)–(3) позволяет сделать следующие выводы:

обеспечение готовности АТ к использованию по назначению может быть достигнуто улучшением характеристик начального состояния АТ, повышением квалификации личного состава, а также эффективным функционированием системы технического обеспечения;

в целях определения перечня мероприятий по подготовке АТ к использованию по назначению оценку готовности АТ целесообразно проводить отдельно для двух этапов обеспечения готовности АТ;

эффективность обеспечения постоянной готовности АТ следует оценивать по влиянию на боевую готовность воинских частей, а именно на время приведения в полную готовность к выполнению задач по предназначению $T_{\text{ПГ}}$.

Проведенный анализ формул (1)–(3) и выводы, подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования методического подхода, обеспечивающего более полную оценку готовности АТ к использованию по назначению. При этом основным направлением совершенствования математического аппарата является использование критериев и показателей, отражающих процесс обеспечения постоянной готовности АТ и учета наиболее значимых факторов, влияющих на готовность АТ к использованию по назначению. Специфика и особенности обеспечения постоянной готовности АТ воинских частей к использованию по назначению, возросшие требования к боевой готовности воинских частей подчеркивают актуальность и сложность задачи выбора показателей эффективности. Актуальность объясняется ролью АТ в поддержании воинских частей в постоянной боевой готовности. Сложность задачи обусловлена своеобразием конечного результата, трудностью соизмерения его с затратами для его получения.

Таким образом, обеспечение постоянной готовности АТ к использованию по назначению является одной из важнейших задач обеспечения боевой готовности воинских частей. Цели обеспечения постоянной готовности АТ достигаются на основе выполнения комплекса мероприятий по поддержанию образцов АТ в установленной степени готовности в мирное время, а также заблаговременного планирования комплекса мероприятий по приведению АТ в готовность к использованию по назначению. В предлагаемом подходе к оценке готовности АТ воинских частей к использованию по назначению выделены два основных этапа, для которых необходимо произвести оценку эффективности проводимых мероприятий: первый – обеспечение постоянной готовности АТ в мирное время; второй – приведение АТ воинских частей в готовность к использованию по назначению. Количественным показателем уровня готовности АТ к использованию по назначению может быть принят коэффициент боевой готовности $K_{\text{БГ}}$, характеризующий не списочное количество АТ воинской части, а количество образцов АТ, приведенных в состояние готовности к использованию по назначению.

Список литературы

1. Анализ эффективности системы автотехнического обеспечения войск оперативного объединения в период нарастания военной угрозы (шифр «Мустанг»): отчет о НИР / УО «ВА РБ»; рук. темы В. Н. Цыганков. – Минск, 2009. – 98 с. – Инв. №3495/1.
2. Об утверждении Инструкции о порядке проведения проверки и оценки состояния вооружения, военной и специальной техники в Вооруженных Силах и транспортных войсках: Приказ Министра обороны Респ. Беларусь от 27 авг. 2010 г. № 770.
3. Об утверждении документов, регламентирующих вопросы организации автотехнического обеспечения Вооруженных Сил: Приказ Министра обороны Респ. Беларусь от 4 дек. 2011 г. № 1085.
4. Автотехническое обеспечение подразделений и частей: учеб. пособие / И. И. Дерновой [и др.]; под ред. В. М. Зюбко. – М.: Воениздат, 1973. – 196 с.
5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
6. Организация эксплуатации вооружения и техники: учеб. / Ю. А. Бурдейный [и др.]. – М.: ВА БТВ, 1991. – 354 с.
7. Шумик, С. В. Основы технической эксплуатации автомобилей / С. В. Шумик. – Минск: Вышэйш. шк., 1981. – 286 с.
8. Эксплуатация и ремонт военной техники. Термины и определения: ГОСТ В 25883-83.

* Сведения об авторе:
Гончаревич Сергей Николаевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 11.03.2013 г.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ОТДЕЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ БРИГАДЫ

УДК 623.437

С. В. Долудо*

В статье рассматривается метод оценки эффективности функционирования группы технической разведки на основе теории массового обслуживания.

In the article the technique of an estimation of overall performance of evacuation divisions with use of mathematical methods of the theory of mass service is considered.

Эффективность использования производственных возможностей ремонтных органов автомобильной техники (АТ) в военное время в значительной степени зависит от данных технической разведки (ТР), поскольку своевременная информация о местонахождении, количестве и техническом состоянии неисправной АТ позволит более качественно организовать мероприятия по ее эвакуации, ремонту и скорейшему возвращению в строй.

В войсковых звеньях (до бригады включительно) отсутствуют штатные органы технической разведки. Разведка ведется нештатными органами, а также ремонтно-восстановительными органами одновременно с выполнением ими основных задач.

Нештатными органами технической разведки являются: в батальоне (дивизионе), иногда в роте – пункт технического наблюдения (ПТН); в бригаде – группы технической разведки (ГТР). Задачи ТР возлагаются также на ремонтно-восстановительные органы. Как правило, к ней привлекаются временные ремонтно-восстановительные формирования – ремонтно-эвакуационные, ремонтные, эвакуационные группы, которые действуют непосредственно на поле боя, в боевых порядках войск и способны собирать информацию одновременно с выполнением своих основных функций [1].

Результатом функционирования ПТН являются сведения о местонахождении, количестве и тяжести повреждений ВВТ. ПТН, как правило, возглавляется заместителем командира батальона по вооружению. В его состав могут входить заместители командиров рот по вооружению, техники рот, необходимые специалисты взвода технического обслуживания. Отличительной особенностью ПТН является способ его функционирования. Располагаясь за боевыми порядками своих подразделений, обычно вблизи командно-наблюдательных пунктов, необходимую информацию о вышедшей из строя ВВТ он получает из докладов должностных лиц подразделений по системе управления войскового звена. В отличие от ПТН, предметом функционирования ГТР являются единичные объекты (районы наибольшего количества вышедших из строя ВВТ, пункты передачи и т. п.). Свои задачи ГТР выполняет, перемещаясь по району, на котором необходимо сосредоточить усилия. Эти различия указывают на необходимость отдельного рассмотрения вопросов оценки эффективности функционирования ПТН и ГТР. Способ получения необходимой информации ПТН зависит от множества трудно формализуемых факторов. Описать математически такой процесс достаточно сложно, поэтому в дальнейшем анализ функционирования органов ТР проводится применительно к ГТР.

В настоящее время в руководящих документах отсутствует методика проведения расчетов по технической разведке. Однако при проведении исследований возникает необходимость в оценке эффективности ее функционирования. Для этих целей необходимо иметь методику, основанную на научных методах исследования, а также выбрать показатели эффективности, по которым в дальнейшем и будет определяться степень соответствия возможностей органов ТР предъявляемым требованиям.

Исходя из сущности процесса ТР, для ее количественного описания целесообразно применить специальный аппарат теории вероятностей. Анализируя процесс функционирования органов ТР, можно выделить два основных этапа. Первый этап заключается в поиске неисправных (поврежденных) объектов ВВТ до их обнаружения. Продолжительность данного

этапа зависит от поисково-обнаружительных возможностей органов ТР. Второй этап представляет собой этап оценки технического состояния обнаруженных объектов. Продолжительность данного этапа определяется возможностями органов ТР по оценке технического состояния неисправных объектов ВВТ.

Поисково-обнаружительные возможности органов ТР характеризуют их способность обнаруживать неисправные (поврежденные) объекты ВВТ в пределах назначенного района за время t в различных условиях [2]. В качестве показателя эффективности при этом наиболее целесообразно взять математическое ожидание числа объектов $M_{об}$, обнаруженных данным составом сил к заданному сроку.

Математическое ожидание числа обнаруженных объектов можно рассчитать по формуле [2]:

$$M_{об} = N_o P_{об}, \quad (1)$$

где N_o – число неисправных объектов АТ в районе поиска;

$P_{об}$ – вероятность обнаружения объекта ГТР.

Вероятность обнаружения объекта к заданному сроку может быть получена с помощью известной из теории вероятностей формулы [2]:

$$P_{об}(t) = 1 - \exp\left(-\frac{uT_{п}}{S_p}\right),$$

где u – производительность поиска ГТР с учетом вероятности неуклонения объекта и вероятности получения с ним контакта, км²/ч;

$T_{п}$ – время поиска, ч;

S_p – площадь района поиска, км².

Производительность поиска можно рассчитать по формуле [2]:

$$u = 2D_{об}v_{п}P_{нук}P_{к},$$

где $D_{об}$ – дальность действия средства обнаружения, км;

$v_{п}$ – скорость наблюдателя, км/ч;

$P_{нук}$ – вероятность неуклонения объекта;

$P_{к}$ – вероятность контакта с объектом, попавшим в зону действия наблюдения.

Так как неисправные ВВТ неподвижны, то $P_{нук}$ и $P_{к}$ будут равны 1.

Наиболее существенное влияние на дальность обнаружения $D_{об}$ будут оказывать физико-географические условия местности. В ранее проведенных исследованиях [3–5] рассматривались содержание и характер их влияния на восстановление ВВТ. Так, при оценке возможностей органа ТР в условиях лесной местности дальность обнаружения принималась равной $D_{об} = 100...150$ м. При действиях на открытой местности $D_{об} = 800...1200$ м.

С учетом указанных соотношений формула (1) примет вид

$$M_{об} = N_o \left[1 - \exp\left(-\frac{uT_{п}}{S_p}\right) \right].$$

Полученные выражения позволяют оценивать поисково-обнаружительные возможности органов технической разведки.

Достижение целей второго этапа осуществляется посредством реализации возможностей по оценке технического состояния обнаруженной АТ. Для количественной оценки этих возможностей используем следующий подход. Представим орган технической разведки в виде системы массового обслуживания (СМО), состоящей из одного канала обслуживания. Оценка технического состояния проводится путем перемещения специалиста к неисправной машине с последующей ее дефектацией внешним осмотром.

На вход СМО поступает поток заявок, образуемый фактом обнаружения неисправных объектов. Интенсивность этого потока соответствует интенсивности обнаружения γ , величину которой можно определить по следующей формуле:

$$\gamma = \lambda P_{об},$$

где λ – интенсивность выхода из строя АТ,

$P_{об}$ – вероятность обнаружения неисправной АТ.

Поступающая в систему заявка обрабатывается в соответствии с пропускной способностью, образуя, в свою очередь, поток обслуживаний с интенсивностью ν . Однако принятые допущения позволяют обосновывать пуассоновский характер только входного потока. Использование допущения об экспоненциальном распределении времени обслуживания данных заявок может привести к значительным ошибкам при расчете численных значений показателей эффективности функционирования подразделений ТР.

Ранее проведенные исследования показали, что распределение времени обслуживания заявок в системах такого типа подчинено закону Эрланга второго порядка, который наиболее точно отражает процесс оценки технического состояния поврежденного образца при функционировании подразделений технической разведки [6]. Об этом свидетельствуют имеющиеся опыт восстановления техники и статистические данные времени, затрачиваемого при оценке технического состояния и ремонте некоторых ее образцов.

Плотность распределения в данном случае будет иметь вид [7]:

$$f_2(t) = \nu^2 t e^{-\nu t}.$$

Возникает необходимость свести данный процесс к марковскому и найти для него предельные вероятности состояний. В тех случаях, когда число состояний системы не очень велико, а потоки событий представляют собой (точно или приближенно) потоки Эрланга, есть возможность свести процесс к марковскому, воспользовавшись методом «псевдосостояний».

Случайная величина T – время проведения оценки образца – распределена по закону Эрланга второго порядка и, значит, представляет собой сумму двух случайных величин T_1 и T_2 , распределенных по показательному закону с параметром ν [7]:

$$f_1(t) = \nu e^{-\nu t} (t > 0).$$

Истинных состояний системы всего два: S_1 – канал свободен; S_2 – оценка технического состояния объекта.

Граф состояний представлен на рисунке 1.

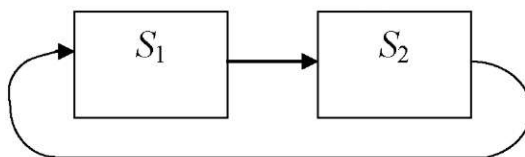


Рисунок 1 – Граф состояний процесса оценки технического состояния обнаруженной АТ

Переход по стрелке $S_2 \rightarrow S_1$ происходит под влиянием не простейшего, а эрланговского потока событий. Чтобы искусственно свести этот процесс к марковскому, введем в цепочку состояний вместо одного состояния S_2 два последовательных «псевдосостояния»:

$S_2^{(1)}$ – первая фаза оценки технического состояния объекта;

$S_2^{(2)}$ – вторая фаза оценки технического состояния объекта.

Таким образом, разделим процесс оценки технического состояния объекта на две фазы, при этом время пребывания системы в каждой из фаз будем считать распределенным по показательному закону. Граф состояний будет иметь следующий вид (рисунок 2).

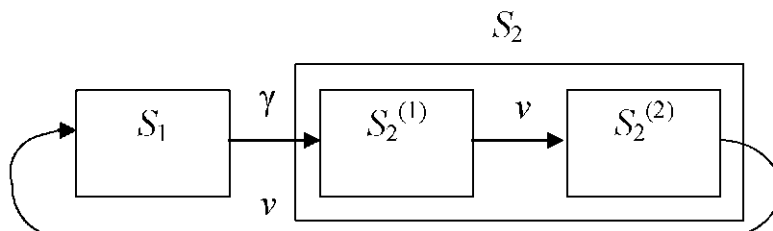


Рисунок 2 – Граф псевдосостояний процесса оценки технического состояния обнаруженной АТ

Роль одного состояния S_2 играют два псевдосостояния $S_2^{(1)}$ и $S_2^{(2)}$. Процесс, протекающий в такой системе, уже будет марковским. Обозначим $p_2^{(1)}$ и $p_2^{(2)}$ – предельные вероятности пребывания системы в псевдосостояниях $S_2^{(1)}$ и $S_2^{(2)}$, тогда:

$$p_2 = p_2^{(1)} + p_2^{(2)}.$$

Обозначая $\bar{t}_1 = \frac{1}{\gamma}$, $\bar{t}_2 = \frac{1}{\nu}$, можем написать выражения для предельных вероятностей состояний [7]:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{\bar{t}_1}{\bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \bar{t}_2} = \frac{\bar{t}_1}{\bar{t}_1 + 2\bar{t}_2}, \\ p_2^{(1)} = p_2^{(2)} &= \frac{\bar{t}_2}{\bar{t}_1 + 2\bar{t}_2}, \\ p_2 &= p_2^{(1)} + p_2^{(2)} = \frac{2\bar{t}_2}{\bar{t}_1 + 2\bar{t}_2} \end{aligned} \right\}$$

Величина $2\bar{t}_2$ представляет собой среднее время оценки технического состояния образца – оно равно сумме средних времен пребывания системы в каждой фазе оценки.

Переходя в формулах для p_1 и p_2 от средних времен \bar{t}_1 , \bar{t}_2 к интенсивностям потоков, по формулам $\bar{t}_1 = 1/\gamma$, $\bar{t}_2 = 1/\nu$ получим

$$p_1 = \frac{\frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{\gamma} + 2\frac{1}{\nu}} = \frac{\nu}{\nu + 2\gamma}; \quad p_2 = \frac{2\frac{1}{\nu}}{\frac{1}{\gamma} + 2\frac{1}{\nu}} = \frac{2\gamma}{\nu + 2\gamma}.$$

Для одноканальной СМО вероятность p_1 есть вероятность того, что в момент t канал свободен, иначе говоря, заявка, пришедшая в момент t , будет обслужена. Это значит, для

данного момента времени t среднее отношение обслуженных заявок к числу поступивших также равно p_1 , то есть относительной пропускной способности $q(p_1 = q)$ [7].

При $t \rightarrow \infty$, когда процесс обслуживания уже установится, предельное значение относительной пропускной способности будет равно [7]:

$$q = \frac{\mu}{\lambda + \mu}.$$

Зная относительную пропускную способность q , можно найти абсолютную пропускную способность A [7]:

$$A = \lambda q.$$

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет оценить эффективность функционирования органа ТР, сравнивать планируемые варианты организации технической разведки и выбирать наиболее рациональные из них. Важно отметить, что предложенный подход к оценке эффективности рассматривает работу системы в целом, что позволяет наиболее полно прогнозировать эффективность ТР в бою.

Отличительной особенностью предложенного подхода является возможность оценки эффективности второго этапа технической разведки, заключающегося в оценке технического состояния обнаруженной АТ.

Список литературы

1. Техническое обеспечение подразделений в бою: учеб. / Г. А. Осипов [и др.]. – Минск: ВА РБ, 2009. – 235 с.
2. Абчук, В. А. Справочник по исследованию операций / В. А. Абчук. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
3. Банников, В. Ю. Совершенствование системы автотехнического обеспечения войск оперативного командования в оборонительной операции: дис. ... канд. воен. наук: 20. 01. 03 / В. Ю. Банников. – Минск, 2002. – 183 л.
4. Федоров, А. Ю. Обоснование рациональных вариантов восстановления ракетно-артиллерийского вооружения в отдельной механизированной бригаде ВС РБ: дис. ... канд. техн. наук: 20. 02. 17 / А. Ю. Федоров. – Минск, 2000. – 141 с.
5. Цыганков, В. Н. Повышение эффективности системы восстановления автомобильной техники в корпусной оборонительной операции: дис. ... канд. воен. наук: 20. 01. 03 / В. Н. Цыганков. – Минск, 1999. – 167 с.
6. Захаров, И. Я. Методика выбора рационального состава сил и средств системы восстановления вооружения группировки войсковой ПВО: дис. ... канд. техн. наук: 20. 02. 17 / И. Я. Захаров. – Минск, 2009. – 157 с.
7. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.

*Сведения об авторе:

Долудо Сергей Валерьевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 03.05.2013 г.

ПЕРЕВОЗКА ГОРЮЧЕГО В МЯГКИХ РЕЗЕРВУАРАХ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

УДК 624.953

С. В. Еськин, Д. Ю. Богданов*

В статье рассматриваются преимущества использования мягких резервуаров перед стальными для хранения и транспортировки нефтепродуктов, а также перспективы использования современных мягких резервуаров на автомобильной технике отечественного производства.

In article advantages of use soft tanks before steel for storage and transportation oil products, and also prospect of use modern soft tanks on the automobile technics of a domestic production are considered.

Мягкие (резинотканевые) резервуары типа МР используются для хранения и транспортировки светлых нефтепродуктов (автомобильного бензина, дизельного топлива, авиационного керосина, масел и т. д.) с 1953 года и отлично зарекомендовали себя как в тылу (в ходе обеспечения боевой подготовки и повседневной деятельности войск), так и в зоне ведения боевых действий. Так, уже в 1980 году в Афганистане в целях обеспечения горючим авиагруппировки, сосредоточенной для проведения операции, в течение суток был развернут полевой склад авиационного топлива, на котором в качестве средств хранения впервые использовались только резинотканевые резервуары типа МР-25. Первые образцы резинотканевых резервуаров изготавливались методом вулканизации, плохо переносили мороз и весили довольно много, что затрудняло их транспортировку и развертывание в полевых условиях [1].

С конца 80-х годов XX века была разработана технология производства мягких резервуаров из полимерных материалов. Такие резервуары в 5–6 раз легче резинотканевых, не боятся морозов (специальные виды полимеров выдерживают температуры до -60°C).

Широкое применение полимерные резервуары получили в вооруженных силах стран НАТО [2].

Вместе с тем в настоящее время промышленные предприятия Российской Федерации освоили выпуск полимерных мягких резервуаров. Существует также перспектива освоения технологии их производства предприятиями химической промышленности Республики Беларусь. Рассмотрим особенности эксплуатации мягких резервуаров, а также их преимущества и недостатки.

Современные мягкие резервуары в конструктивном отношении представляют собой замкнутую оболочку в виде подушки с вмонтированной в нее арматурой. Оболочка резервуаров состоит из внутреннего маслобензостойкого слоя, полиамидной противодиффузионной пленки, капронового силового слоя и наружного атмосферостойкого слоя.

Мягкие резервуары можно перевозить как заполненными, так и порожними. В заполненном состоянии их транспортируют автотранспортом при объеме резервуара до 10 м^3 , а в порожнем состоянии – при объеме до 50 м^3 и более. Порожние резервуары, доставленные к месту установки, заполняют нефтепродуктом и размещают обычно на открытых площадках под навесом, а также в закрытых помещениях. Наиболее широкое применение получили резервуары объемом $2,5\text{--}50\text{ м}^3$. В отдельных случаях изготавливают резервуары больших объемов – до 400 м^3 .

Мягкие резервуары по сравнению со стальными обладают рядом преимуществ:

малая собственная масса по отношению к массе перевозимого или хранимого нефтепродукта;

возможность свертывания порожнего резервуара в рулон (пакет) небольшого объема;

малое удельное давление на грунт в заполненном состоянии;

отсутствие потерь нефтепродуктов от испарения при «малых» и «больших» дыханиях.

Недостатком мягких резервуаров является наличие электростатических полей с напряженностью электрического поля от 300 В до 20 кВ, которые создаются на поверхности и в пространстве вокруг резервуаров, при заполнении резервуаров нефтепродуктами. Наблюдается также примерзание оболочки резервуара к грунту при отрицательных температурах в результате конденсации паров воды из атмосферного воздуха на поверхности резервуара, а в случае разгерметизации замкнутой оболочки или проливов нефтепродуктов происходит загрязнение окружающей среды.

Сравнительная техническая характеристика стальных и мягких резервуаров, используемых в Вооруженных Силах Республики Беларусь [4, 5], представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика стальных и мягких резервуаров номинальным объемом 4 м³

Характеристика	Тип резервуара	
	Р-4	МР-4
Номинальный объем резервуара, м ³	4,1	4
Масса порожнего резервуара, кг	580	70
Масса резервуара, приходящаяся на 1 м ³ залитого горючего, кг	157,1	17,5
Масса резервуара в заполненном состоянии, кг	3716	3470
Отношение массы резервуара в % к массе резервуара в заполненном состоянии	15,6	2,07
Линейные размеры резервуара, мм:		
диаметр (ширина)	1363	2650
длина	2850	4000

Примечания:

1. Линейные размеры резиноканевых резервуаров указаны в порожнем состоянии.
2. Удельный вес залитого продукта 0,85 т/м³.
3. Коэффициент заполнения стальных резервуаров и тары $K_{ст} = 0,9$, а мягких резервуаров $K_{МР} = 1$.

Из таблицы 1 видно, что при собственной массе мягкого резервуара в 8,3 раза меньше, чем стального резервуара, масса хранимого (перевезенного) горючего для мягкого резервуара на 10 % больше.

Данный показатель имеет большое значение при организации подвоза материальных средств. Так, при планировании подвоза требуется на 10 % меньше транспорта при равном количестве перевезенного горючего. Уменьшение массы тары влияет на эффективность разгрузочно-погрузочных постов в районе передачи материальных средств. При перемещении одного и того же груза в случае с мягкими резервуарами масса самих материальных средств будет больше, чем при транспортировке в стальных резервуарах.

Резервуары МР-12, МР-25, ПЭР-50, ПЭР-150 и ПЭР-200 применяются только для хранения, а МР-2,5, МР-4, ПЭРП-4, ПЭРП-10 и ПЭРП-25 – как для хранения, так и для транспортировки нефтепродуктов грузовыми автомобилями и прицепами.

Основные характеристики мягких резервуаров из полимерных материалов [6] приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Краткие технические характеристики полимерных эластичных резервуаров

Марка резервуара	Вместимость, м ³	Габаритные размеры эластичных резервуаров, м								Масса, кг
		порожного		заполненного			упакованного в чехол			
		Длина	Ширина	Длина	Ширина	Высота	Длина	Ширина	Высота	
ПЭРП-4	4	3,8	2,7	3,6	2,6	0,7	1,5	0,4	0,16	15
ПЭРП-10	10	5,5	2,5	5,2	2,2	1,3	1,8	0,6	0,26	19
ПЭРП-12	12	6,5	3,1	5,9	2,7	1,3	1,8	0,9	0,26	21
ПЭРП-25	25	12,0	3,1	5,5	5,4	1,2	2,2	1,3	0,26	62
ПЭР-50	50	21,0	3,1	20,0	2,5	1,4	2,5	1,3	0,26	89
ПЭР-150	150	21,0	7,3	20,0	6,5	1,4	3,5	1,7	0,60	224
ПЭР-200	200	21,0	10,2	20,0	9,5	1,6	3,5	2,3	1,30	310

Примечание. Наименования полимерных резервуаров указаны в соответствии с номенклатурой ЗАО «ЮгСтройМонтаж» Российской Федерации.

Из таблицы 2 видны преимущества при транспортировке (как в порожнем, так и в заполненном состоянии) мягких резервуаров перед стальными.

На один автомобиль можно погрузить не более 25 м³ порожних стальных резервуаров, в то время как мягких резервуаров можно перевезти одним автомобилем 400–500 м³ (в 20 раз больше). При перевозке стальных резервуаров неизбежны «холостые» пробеги автомобилей (прицепов) на обратном рейсе, в то время как освободившийся от горючего резиноканевый резервуар занимает незначительное место в кузове и автомобиль может быть использован для перевозки других грузов. При перевозке горючего в стальных резервуарах требуется тщательное и надежное их закрепление, что нередко связано со специальным дооборудованием кузова автомобиля. Резиноканевый же резервуар с горючим можно перевозить в кузове автомобиля без швартовки.

Во избежание возникновения чрезмерных избыточных давлений из-за колебаний температуры, влекущих за собой разрыв или нарушение герметичности стальных резервуаров и тары, последние заполняются с недоливом 10 %, т. е. коэффициент заполнения $K_{ст} = 0,9$. Резиноканевые же резервуары, имеющие эластичную, растягивающуюся оболочку, заполняются до номинального объема ($K_{МР} = 1$). Кроме того, резиноканевые резервуары не подвергаются коррозии, а следовательно, не требуют специальных антикоррозионных покрытий и т. п.

Тактико-технические характеристики ПЭР позволяют использовать их на бортовых автомобилях, выпускаемых в Республике Беларусь.

В таблице 3 приведены сравнительные показатели, характеризующие транспортировку порожних и заполненных стальных и мягких резервуаров на автомобильном транспорте, производимом в настоящее время белорусской автомобильной промышленностью [6].

Из таблицы 3 видно, что коэффициент использования грузоподъемности автомобилей при транспортировке заполненных металлических резервуаров составляет в среднем 0,5–0,7, в то время как при транспортировке горючего в резиноканевых резервуарах он составляет почти 1 (в мягких резервуарах на 30–50 % выше, чем в стальных).

При этом масса металлического резервуара, приходящаяся на единицу объема (1 м³) залитого горючего, составляет 120–270 кг, а собственная масса резервуара, отнесенная к его массе в заполненном состоянии, колеблется в пределах 13–14 %, в то время как для резиноканевых резервуаров эти показатели составляют соответственно 15–18 кг и 2 %.

Таблица 3 – Транспортировка порожних и заполненных стальных и резиноканевых резервуаров и тары грузовыми автомобилями

Марка автомобиля	Максимальная грузоподъемность, т	Тип резервуара	На один автомобиль грузится резервуаров с горючим, шт.	Масса в заполненном состоянии, кг		Использование автомобиля по грузоподъемности, %	
				одного резервуара	общая	по весу брутто	по весу нетто
МАЗ-4370	5,1	Р-4	1	3716	3716	73	60
		МР-4	1	3470	3470	68	83
		ПЭРП-4	1	3415	3415	67	83
МАЗ-4371	4,8	Р-4	1	3716	3716	77	64
		МР-4	1	3470	3470	72	89
		ПЭРП-4	1	3415	3415	71	89
МАЗ-5309	6,8	Р-4	1	3716	3716	55	45
		МР-4	1	3470	3470	51	63
		ПЭРП-4	2	3415	6830	100	125
МАЗ-5340	9,6	Р-4	2	3716	7432	77	77
		Р-10	1	8691	8691	91	80
		МР-4	2	3470	6940	72	72
		ПЭРП-4	2	3415	6830	71	71
		ПЭРП-10	1	8520	8520	89	89
МАЗ-6310	14,2	Р-4	2	3716	7432	52	43
		Р-10	1	8691	8691	61	54
		МР-4	2	3470	6940	49	60
		ПЭРП-4	2	3415	6830	48	60
		ПЭРП-10	1	8520	8520	60	60
		ПЭРП-12	1	10221	10221	72	72
МАЗ-6312	14,6	Р-4	2	3716	7432	51	42
		Р-10	1	8691	8691	60	52
		МР-4	2	3470	6940	48	58
		ПЭРП-4	2	3415	6830	47	58
		ПЭРП-10	1	8520	8520	58	58
		ПЭРП-12	1	10221	10221	70	70
МАЗ-6317	11	Р-4	2	3716	7432	68	56
		Р-10	1	8691	8691	79	70
		МР-4	2	3470	6940	63	77
		ПЭРП-4	2	3415	6830	62	77
		ПЭРП-10	1	8520	8520	77	77
		ПЭРП-12	1	10221	10221	93	93

В современных условиях облегчение веса технических средств службы горючего, а следовательно, и повышение мобильности складов горючего приобретают исключительно важное значение. Использование мягких резервуаров значительно облегчит задачу войск при их маневре. Погрузка заполненного резервуара на автотранспорт – сложная технологическая задача, при выполнении которой каждый рабочий процесс играет решающую роль. Так, только погрузка в автотранспорт и крепление мягких резервуаров проводится в 5–6 раз быстрее, чем стальных [3]. Уменьшение времени на подготовку тыла к выполнению поставленных задач повышает боевую готовность войск.

Вследствие малой высоты мягкие резервуары могут получить широкое применение в силах специальных операций при рассредоточении запасов материальных средств, создании схронов, небольших по объему складов горючего. Такое же применение они могут получить и при ведении бригадами маневренной обороны, когда на каждом рубеже войска могут дозакрепить технику, при этом не бросая материальные средства (резервуары, бочки), а забирая их с собой.

Выводы:

1. Современные мягкие резервуары (типа ПЭРП) в 5–6 раз легче резиноканевых, хорошо переносят низкие температуры, а следовательно, могут использоваться в климатических условиях Республики Беларусь.

2. Мягкие резервуары обладают значительными преимуществами перед стальными:

при собственном небольшом весе имеют требуемую емкость. При собственной массе мягкого резервуара в 8,3 раза меньше, чем стального, масса хранимого (перевезенного) горючего для мягкого резервуара на 10 % больше;

применение мягких резервуаров для транспортировки горючего автомобильным транспортом позволяет исключить холостые пробеги автомобилей, максимально использовать грузоподъемность автомобилей, значительно сократить время на доставку горючего войскам;

использование мягких резервуаров значительно сократит время на оборудование полевых складов горючего и их свертывание.

3. Применение мягких резервуаров имеет наибольший эффект при использовании силами специальных операций, а также в ходе ведения маневренной обороны механизированной бригадой.

4. Уменьшение сроков на передачу заполненных мягких резервуаров с автотранспорта на автотранспорт в районе передачи материальных средств позволит оптимизировать численность погрузочно-разгрузочных постов, тем самым сократить потребность в личном составе, средствах механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Список литературы

1. Левинин, С. В. Мягкие резервуары для хранения и транспортирования нефтепродуктов / С. В. Левинин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1993.

2. Армия: Тыловое обеспечение объединенных вооруженных сил НАТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.soldiering.ru/army/file/nato_rear.php. – Дата доступа: 26.02.2013.

3. Руководство по организации и эксплуатации Полевых складов горючего с применением полимерных эластичных (мягких) резервуаров. ТУ 2297-001-18007830-2005.

4. Кушниренко, К. Ф. Краткий справочник по горючему / К. Ф. Кушниренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 303 с.

5. Ивашутич, Е. И. Технические средства обеспечения горючим. Ч. 1: альбом / Е. И. Ивашутич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1977. – 131 с.

6. Назначение ПЭР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polimer-svarka.front.ru/rezerv.htm>. – Дата доступа: 28.02.2013.

7. Каталог автотехники. Бортовые автомобили [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maz.by/catalog/bortovie.pdf>. – Дата доступа: 24.02.2013.

*Сведения об авторах:

Еськин Сергей Васильевич.

Богданов Денис Юрьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.03.2013 г.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В ИМИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

УДК 519.711.3

Е. С. Макарова, В. М. Булойчик, А. В. Герцев, Е. В. Рулько*

В статье обращается внимание на то, что при описании мыслительной деятельности командира необходимо использовать элементы теории искусственного интеллекта. Проанализированы подходы к воспроизведению такой деятельности с помощью ПЭВМ. Рассмотрены современные методы решения многокритериальных задач, на основе которых принимаются решения командиром. Выбран наиболее удобный метод для принятия решений в имитационных системах моделирования военного назначения.

The main idea of this article is that it is necessary to use the elements of the theory of artificial intelligence for description the commander cogitative activity. Approaches to reproduction of human activity on PC are analyzed. Modern methods of solving the multi-attribute problems are described. The most convenient method for making choice during computer simulations of military activities is chosen.

При создании системы моделирования военных действий (СМВД) имеет место задача воспроизведения мыслительной деятельности командиров при решении задач моделирования процессов управления на уровнях: подразделение, совокупность подразделений, часть и соединение. Основная трудность построения формализованного описания таких задач заключается в проблематичности использования для этих целей только количественных методов. В настоящее время не представляется возможным создать детерминированные алгоритмы, способные полностью заменить командира при решении им таких творческих задач, как оценка обстановки, прогнозирование и выбор наиболее вероятных вариантов поведения противника и др.

В то же время вопрос о возможности автоматизации решения творческих задач управления сводится фактически к вопросу о моделировании мышления человека-командира на ЭВМ и является одним из центральных в современной теории искусственного интеллекта. Рассмотрим, какие функции мышления командира может уже сегодня выполнять ЭВМ.

В соответствии с современным состоянием теории искусственного интеллекта можно выделить следующие формы мыслительной деятельности человека: эмпирическое мышление; аксиоматическое (аналитическое) и диалектическое.

Сущность эмпирического мышления заключается в накоплении, систематизации и организации опыта. Принимая решение в конкретной ситуации, человек сопоставляет ее с ранее встречавшимися, распознает и выбирает такой способ действий, который принес ему успех в прошлом. В процессе накопления опыта осуществляется установление связи «ситуация – решение». При этом происходит отбор наиболее существенных признаков ситуации, оправдывающих принятие того или иного решения. В результате вырабатывается как бы автоматическая реакция на типичные ситуации, не требующая практически никаких умственных усилий.

Возможность моделирования на ЭВМ такой формы мышления сегодня не вызывает сомнений. Для этого необходимо построить программу, позволяющую на этапе обучения анализировать описания ситуаций, выделять их общие признаки, которым соответствует одно и то же лучшее решение, и накапливать их в памяти. В дальнейшем эта программа должна сопоставлять каждую вновь возникшую ситуацию с набором признаков, соответствующих каждому решению, и выбирать то, которое принималось в аналогичных ситуациях в прошлом. При этом первоначальное обучение программы может осуществляться экспертом (человеком, указывающим наилучшее решение в каждой ситуации), либо может быть организован процесс самообучения, при котором целесообразное решение отыскивается с помощью

детальных прогностических моделей боевых действий. При этом должен быть задан критерий оценки качества решений.

Подобный подход к управлению получил название ситуационного управления. Он уже реализован на практике и используется в технической диагностике, медицине, для управления железнодорожным узлом и другими объектами, характерными для которых являются повторяемость ограниченного числа типовых ситуаций и ограниченное число возможных решений. Именно в ограниченности состоит его основной недостаток. Если условия деятельности человека или функционирования системы управления настолько разнообразны, что одинаковые или близкие ситуации практически не повторяются и заранее невозможно предвидеть, какие ситуации могут возникнуть в будущем, то количество возможных решений велико и эмпирическое мышление оказывается бессильным. Боевые действия характеризуются этими свойствами. Например, в связи со стремлением противника скрыть свой замысел и его конкретную реализацию заранее невозможно учесть все многообразие вариантов развития событий и соответствующее им число ситуаций.

Если возложить функцию накопления опыта на человека-разработчика программы, то функции ЭВМ при моделировании эмпирического мышления сводятся к выполнению предписаний типа: «при выполнении таких-то и таких-то условий делать то-то». Это и есть, по существу, фрагмент программы ЭВМ.

В военных системах автоматизированного управления такого рода программы необходимы, они могут быть применены, например, для выработки решений по управлению одиночными огневыми средствами, когда количество таких решений ограничено. Однако с ростом количественного состава огневых средств и, соответственно, количества целей, которые могут находиться в их зоне действия, количество возможных вариантов решений резко возрастает. Если к тому же учесть возможность уничтожения целей каждым средством на различных рубежах, то количество таких вариантов становится практически необозримым. Ясно, что построить алгоритм управления по принципу «ситуация – решение» в этом случае не представляется возможным. При этом следует учитывать, что зоны действия огневых средств в значительной степени перекрываются, так что нельзя ограничиться принятием решения отдельно для каждого средства, а необходимо рассматривать их в совокупности.

Таким образом, хотя моделирование эмпирического мышления человека в принципе возможно, одной этой формы явно недостаточно для реализации ее в такой сложной системе, как СМВД.

Аксиоматический способ мышления заключается в задании исходной системы предположений, принимаемых тождественно истинными в любой возможной ситуации, и последующем логическом выводе по определенным правилам решения из описания ситуации, целевой установки (боевой задачи) и указанной системы аксиом. Этот способ мышления является более оперативным по сравнению с эмпирическим, поскольку он основан на предварительном выявлении общих закономерностей, свойственных окружающей среде и зафиксированных в аксиомах, и использовании правил логического вывода, также выработанных в результате накопления опыта.

Военные аксиомы сосредоточены в уставах, наставлениях, инструкциях и отражают накопленный коллективный опыт по управлению войсками. Они не являются безусловно неизменными и нуждаются в совершенствовании и развитии по мере развития форм и способов вооруженной борьбы. Преимущество аксиоматического мышления состоит в том, что человеку необходимо знать не то, какое конкретное решение нужно принять в данной ситуации, а то, как логически вывести это решение из усвоенной им системы общих принципов, положений, правил. Аксиоматическое мышление существенно расширяет диапазон условий, в которых командир может принимать эффективное решение.

Однако аксиоматическое мышление является строго формальным, т. е. при фиксированных системе аксиом и описании ситуаций вывод будет строго однозначным. В этом состоит недостаток аксиоматического мышления, поскольку в военном деле наиболее эффективное решение не всегда является логичным. В нетипичных ситуациях, когда некоторые ак-

сиомы становятся неприемлемыми, может быть получен неверный вывод. Кроме того, недостатком аксиоматического мышления применительно к управлению боевыми действиями является его неполнота, ибо практически невозможно задать систему аксиом, полностью описывающую все закономерности вооруженной борьбы.

Поскольку основу аксиоматического мышления составляет логический вывод, осуществляемый по правилам формальной логики, такая форма мышления поддается моделированию на ЭВМ. В настоящее время известны процедуры автоматического доказательства теорем, реализуемые на ЭВМ и обеспечивающие проверку выводимости того или иного предложения, записанного на формальном языке исчисления предикатов, из исходной системы аксиом. В связи с этим представляется реальной возможность создания алгоритмов управления, основанных на аксиоматическом методе. На этой основе, например, могут быть построены алгоритмы оценки обстановки, выработки решения по закреплению средств поражения за целями, взаимодействия и т. п. Так, в [1] для принятия решения по целераспределению предложен метод анализа иерархий, где допущения и ограничения могут быть записаны в форме аксиом.

Преодолеть недостатки, свойственные аксиоматическому мышлению, можно, если предусмотреть оперативное изменение состава аксиом боевым расчетом в соответствии с изменяющейся обстановкой. Это означает, что недостатки аксиоматического мышления можно скомпенсировать путем участия боевого расчета в процессе выработки решения, т. е. в процессе управления.

Есть все основания полагать, что в настоящее время возможность моделирования мышления человека ограничивается именно его аксиоматической формой.

Наивысшей формой мышления человека является *диалектическое мышление*. Эта форма мышления включает качественные скачки, основанные на обнаружении и преодолении основного противоречия сложившейся ситуации. Если обнаружение противоречия возможно логическим путем или при столкновении с новым эмпирическим фактом, то его преодоление возможно только с позиции диалектики. Все творческие решения обязаны своим появлением именно диалектическому мышлению. Можно считать, что именно такая форма мышления является основной при управлении боевыми действиями. Диалектическое мышление основано на законах диалектической логики, которые в настоящее время еще не формализованы, поэтому пока невозможно моделирование такой формы мышления.

Таким образом, в настоящее время принципиально возможно моделирование эмпирической и аксиоматической форм мышления человека. Для преодоления недостатков аксиоматического мышления необходимо, чтобы в процессе управления принимал участие человек, дополняющий его диалектическим. Это означает, что на ЭВМ можно возложить решение задач управления в ситуациях, которые предусмотрены исходной системой аксиом, а человек (командир, офицер штаба) должен вмешиваться для принятия творческих решений в нетипичных ситуациях и для коррекции системы аксиом.

В то же время для накопления боевого опыта и коррекции системы аксиом необходимо иметь прогностические модели боевых действий, обеспечивающие количественную оценку вырабатываемых решений. При этом моделирование должно быть достаточно быстрым, детальным, учитывать возможное противодействие противника, пространственные, вероятностные и временные характеристики управляемых средств, их взаимодействие и осуществляться на основе электронной карты местности. Реализация таких моделей должна быть осуществлена [2] либо на мультипроцессорной ЭВМ (типа «СКИФ»), либо в нейросетевом базисе, характеризующемся параллелизмом вычислений и эффективной работой с неполной и зашумленной информацией.

Рассмотрим более детально современные методы, используемые при решении задач поиска наилучшего решения при условии ограниченности используемых ресурсов. За основу примем подход к принятию решений, предложенный Г. Саймоном [3]. В этом случае процесс принятия решений включает в себя три этапа:

- поиск вариантов решения (альтернатив);

- вывод новых альтернатив;
- выбор наилучшей из групп вариантов.

Задачи, решаемые на первых двух этапах, не многочисленны, что объясняется сложностью их формализации. В отличие от задач, решаемых на третьем этапе, которые могут быть четко описаны (формализованы). Такие задачи в общем случае можно разделить на две группы [4].

Задачи первой группы

Дано: группа из n альтернатив-вариантов решения проблемы и N критериев, предназначенных для оценки альтернатив; каждая из альтернатив имеет оценку по каждому из критериев.

Требуется: построить решающие правила на основе предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР), позволяющие:

- выделить лучшую альтернативу;
- упорядочить альтернативы по качеству;
- отнести альтернативы к упорядоченным по качеству классам решений.

Задачи второй группы

Дано: группа из N критериев, предназначенных для оценки любых возможных альтернатив; альтернативы либо заданы частично, либо появляются после построения решающего правила.

Требуется: на основании предпочтений ЛПР построить решающие правила, позволяющие:

- упорядочить по качеству все возможные альтернативы;
- отнести все возможные альтернативы к одному из нескольких (указанных ЛПР) классов решений.

Таким образом, для решения задач первой группы необходимо проанализировать множество заданных альтернатив с учетом их оценок по каждому из предложенных критериев. Решение задач второй группы основано на построении решающих правил, применимых к любому набору альтернатив.

Для решения задач каждой группы разработаны и используются различные методы. Наиболее известными являются: метод MAUT (Multi-Attribute Utility Theory – многокритериальная теория полезности), метод АНР (Analytic Hierarchy Process – подход аналитической иерархии) и метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Realite – исключение и выбор, отражающие реальность).

Метод MAUT применяется для решения задач второй группы и позволяет при помощи математического аппарата и диалога с ЛПР построить функцию полезности для оценки альтернатив. Такой подход позволяет оценивать любые альтернативы, как заданные, так и полученные, например, в процессе имитационного моделирования. Следует заметить, что процесс построения таких функций полезности занимает время и ресурсы ПЭВМ, что в свою очередь не всегда оправдано при имитационном моделировании. А необходимость взаимодействия с ЛПР в процессе построения функций полезности не позволяет автоматизировать процесс принятия решений в имитационных системах моделирования.

Метод АНР, или метод анализа иерархий, является наиболее известным методом решения задач первой группы. Он основан на сравнении имеющихся альтернатив с учетом их важности, установленной ЛПР, и выборе наилучшей. Данный метод легко реализуем в имитационных системах моделирования, нагляден и прост в использовании. Следует отметить, что, по мнению сторонников теории важности критериев [5], данный метод имеет ряд недостатков и допущений. Одно из них состоит в том, что шкалы, в которых осуществляется оценивание (измерение) степеней предпочтений вариантов по каждому из критериев, полагаются шкалами отношений, притом не связанными друг с другом и с приоритетами критериев [6], что может привести к ошибочным результатам. Однако вероятность принятия правильного решения методом анализа иерархий заведомо выше, чем при случайном выборе одного из возможных решений [7].

Метод ELECTRE применяется для решения задач первой группы. В данном методе не определяется количественный показатель качества для каждой из альтернатив, как в методе анализа иерархий. Вместо этого задается условие превосходства одной альтернативы над другой. На основании такого условия поэтапно вычисляются значения индексов согласия и несогласия с гипотезой о превосходстве одной альтернативы над другой. Полученные индексы позволяют выделить множество наилучших альтернатив на каждом этапе. Полученная последовательность этапов определяет упорядоченность множеств альтернатив по качеству. Данный метод является трудоемким и требует участия ЛПР на каждом этапе. В ряде случаев при поэтапном выделении множеств альтернатив могут возникать циклы [4].

Таким образом, наиболее удобным методом принятия решений в имитационных системах моделирования, по мнению авторов, является метод анализа иерархий, о котором речь шла выше и который был использован при разработке модуля принятия решений в создаваемой СМВД. Логика функционирования модуля предполагает на этапе, предшествующем моделированию, формирование определенного набора задач (проблемных ситуаций) с набором параметров для идентификации их появления в ходе моделирования; формирование параметров, на основании которых принимается решение; формирование альтернатив с соответствующими им алгоритмами. Представляется, что в этом случае появляется возможность быстрого получения результатов моделирования, адекватных сложившейся обстановке и пригодных для принятия эффективных решений в составе СМВД. Именно в этом направлении должно идти развитие программного и математического обеспечения системы поддержки принятия решений командира, реализуемой в создаваемой отечественной системе моделирования военных действий.

Список литературы

1. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. Основы теории математического моделирования боя и боевых действий / В. М. Булойчик. – Минск: ВАРБ, 2005. – Ч. 4. – 248 с.
2. Разработка и внедрение программного комплекса имитационных моделей боевых действий группировки ВВС и войск ПВО, реализуемого на мультипроцессорной вычислительной системе задания ПР 6.4 научно-технической программы Союзного государства «Триада». Разработка макета программного обеспечения комплекса имитационных моделей боевых действий группировки ВВС и войск ПВО, реализуемого на мультипроцессорной вычислительной системе: отчет о НИР (заключ.) / ВА РБ; рук. В. М. Булойчик. – Минск, 2008. – 68 с.
3. Simon, H. A. The New Science of Management Decision / H. A. Simon. – N.Y.: Harper and Row Publ., 1977. – 175 с.
4. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
5. Подиновский, В. В. Введение в теорию важности критериев / В. В. Подиновский. – М.: Физматлит, 2007. – 65 с.
6. Подиновский, В. В. О некорректности метода анализа иерархий / В. В. Подиновский, О. В. Подиновская // Проблемы управления. – 2011. – № 1. – С. 8–13.
7. Салтыков, С. А. Экспериментальное сопоставление методов взвешенной суммы, теории полезности и теории важности критериев для решения многокритериальных задач с балльными критериями / С. А. Салтыков // Управление большими системами. – 2010. – № 29. – С. 16–41.

*Сведения об авторах:

Макарова Екатерина Сергеевна,

Булойчик Василий Михайлович,

Герцев Андрей Владимирович,

Рутько Евгений Викторович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.04.2013 г.

УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАРЕЮЩИХ САМОЛЕТОВ

УДК 623. 74

В. С. Шевченко*

Приведены основные положения и расчетные зависимости, которые используются в процессе вероятностного анализа безопасности летательных аппаратов. Определены основные принципы проектирования и эксплуатации их ответственных узлов.

Outlines the main provisions and calculated dependencies, which are used in the process of probabilistic safety assessment of aircraft. Defines the basic principles of the design and operation of their main units.

Многие летательные аппараты в наших Вооруженных Силах к настоящему времени выработали ресурсы, назначенные при их проектировании. Ввиду сложности одновременной замены большого количества старых типов самолетов новыми часто практикуется увеличение их ресурсов до 2,5 раз сверх проектных значений. Обоснованием таких действий являются расчетно-экспериментальные исследования, испытания конструкций на усталость, диагностика и прогнозирование технического состояния систем, узлов и агрегатов каждого экземпляра летательного аппарата, которому продлевается срок службы.

В Российской Федерации ресурс отдельных самолетов продлевается через один-два года на основании специального заключения, утвержденного тремя организациями: головным КБ-разработчиком, Центральным аэрогидродинамическим институтом (ЦАГИ) и Государственным научно-исследовательским институтом гражданской авиации (для гражданских самолетов). При этом прежде всего обращается внимание на возможность возникновения трех основных повреждающих факторов: усталостных повреждений базовых конструктивных элементов; деградации характеристик трещиностойкости и сопротивления усталости элементов конструкции и конструкционных материалов при длительной эксплуатации; роста коррозионных повреждений [1].

Прочность конструктивных элементов. Одной из основных причин потери прочности конструктивных элементов самолетов является многократно повторяющаяся за время эксплуатации переменная нагрузка (напряжение). Наиболее характерным признаком разрушения является развитие усталостной трещины. Такие трещины являются сильным концентратором напряжений и при дальнейшем воздействии переменных нагрузок становятся местом усталостного разрушения элемента конструкции.

Известно, что допустимые переменные нагрузки должны быть значительно меньше допустимых статических нагрузок. Также известно, что даже большие локальные напряжения не приведут к дальнейшему росту трещины и разрушению материала, если ее длина не превышает так называемой критической длины Гриффитса, поскольку рост длины трещины при этом потребовал бы энергии, превышающей работу разрушения материала [2]. Критическую длину трещины можно вычислить с помощью формулы

$$L_g = \frac{2WE}{\pi\sigma^2},$$

где L_g – критическая длина трещины, м;

W – работа разрушения, Дж/м²;

E – модуль Юнга для материала, Н/м²;

σ – среднее напряжение растяжения в материале вблизи трещины, Н/м².

При переменных (циклических) нагрузках происходит перестройка структуры металла, что приводит к уменьшению работы его разрушения. Поэтому возникшая трещина будет увеличиваться даже в случае, если ее длина меньше критической. При достижении критической длины скорость ее роста стремительно возрастает. Трещина проходит через всю деталь и, как правило, вызывает катастрофическое разрушение всей конструкции.

В инженерных расчетах для материалов типа железа (стали) широко используется понятие предела усталости σ_{-1} , обозначающее переменное напряжение, ниже которого деталь можно эксплуатировать «бесконечно долго». Способы его экспериментального определения устанавливаются государственными стандартами. Типичная усталостная кривая для стальных деталей показана на рисунке (N – число циклов нагружений; σ – действующее переменное напряжение).

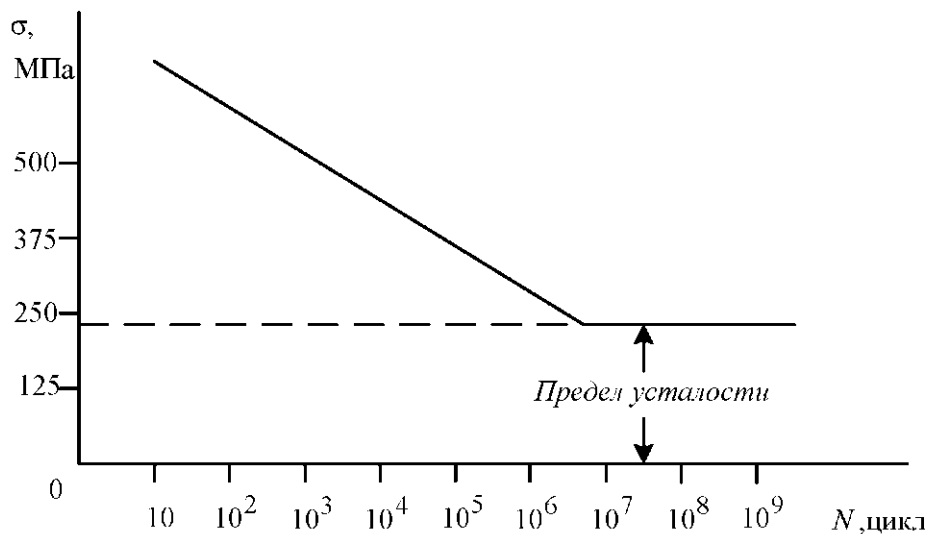


Рисунок – Типичная усталостная кривая для стальных деталей

Видно, что с увеличением числа циклов нагружений N разрушающее напряжение сначала падает, а потом, после примерно 10^7 циклов, устанавливается приблизительно на одном уровне σ_{-1} (предел усталости).

Описанная зависимость устанавливается только для стальных (типа железа) образцов. Сплавы цветных металлов, в том числе широко применяемые в авиации алюминиевые сплавы, не имеют определенного предела усталости, и их прочность с ростом N непрерывно падает.

Катастрофы с английскими пассажирскими самолетами «Комета», случившиеся в середине прошлого века, подтвердили опасность переменных нагрузок для элементов конструкции самолета, изготовленных из цветных сплавов. Эти самолеты были одними из первых, имевших фюзеляж с наддувом. Перепад наружного и внутреннего давления в нем растет с каждым набором высоты и падает с каждым снижением. Проведенные расследования показали, что причиной катастрофических разрушений стала усталость металла в местах опасной концентрации напряжений.

В настоящее время самолеты проектируются в расчете на сохранность элементов фюзеляжа при трещинах длиной в десятки сантиметров. Это значительно облегчает эксплуатационное обслуживание, поскольку при регламентных осмотрах такие трещины легко заметить и своевременно принять необходимые меры для предотвращения возможной аварии. Особое внимание уделяется факторам, влияющим на предел усталости материала (концентраторы напряжений, размеры деталей и состояние их поверхностей, технологическая обработка и др.). Снижение σ_{-1} для деталей с концентраторами напряжений учитывается посредством эффективного коэффициента концентрации напряжений

$$K_{\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1k},$$

где σ_{-1} – предел усталости при симметричном цикле напряжений для образцов без концентраторов напряжений;

σ_{-1k} – предел усталости при симметричном цикле напряжений для образцов с концентратором напряжений.

В справочной литературе [3] приведены многочисленные данные для различных видов концентраторов напряжений.

Опыт подтверждает, что чем больше размер поперечного сечения детали, тем меньше для нее предел усталости. Для оценки этого эффекта используется коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения K_d , значения которого также приводятся в справочной литературе:

$$K_d = (\sigma_{-1})_d / (\sigma_{-1})_{d_0},$$

где $(\sigma_{-1})_d$ – предел усталости детали диаметром d ;

$(\sigma_{-1})_{d_0}$ – предел усталости образца диаметром $d_0 = 6...10$ мм.

Грубая обработка поверхности детали существенно снижает предел усталости. Это связано с изменением микрогеометрии и состоянием металла в поверхностном слое. Влияние качества поверхности детали на предел выносливости оценивают коэффициентом качества

$$K_F = \sigma_{-1n} / \sigma_{-1},$$

где σ_{-1n} – предел усталости детали с данной шероховатостью поверхности;

σ_{-1} – предел усталости образца с поверхностью не грубее $R_a = 0,32$.

Путем поверхностного упрочнения деталей можно в два-три раза повысить сопротивление усталости деталей.

Вероятностный анализ безопасности. Ввиду очень большого количества влияющих факторов и значительной сложности процессов утраты работоспособности технических устройств на практике представляется весьма сложным точное определение времени их надежной работы. Для этого широко используются вероятностные методы [4].

Прогнозирование и оценка вероятности летных происшествий, в том числе связанных с отказами по причине усталостных разрушений самолетных конструкций, позволяют обоснованно назначать продленный ресурс и соответственно корректировать регламенты их эксплуатационного обслуживания. Отказоустойчивая эксплуатация авиационной техники должна основываться на знании природы отказов, имеющих наибольшую вероятность возникновения в данных условиях эксплуатации, а также на достоверной статистической информации бортовых и наземных диагностических систем.

При прогнозировании учитываются опасные отказы силовых элементов конструкции, в том числе катастрофические разрушения фюзеляжа из-за усталостных трещин, достигших критической длины.

Алгоритм основывается на математической модели безопасности функционирования летательного аппарата. Модель может быть представлена в следующем виде:

$$R_{кр} = KR_0R_1R_2R_3,$$

где K – экспериментальный коэффициент;

R_0 – вероятность наступления критических отказов, приводящих к летным происшествиям;

R_1 – вероятность опасных единичных разрушений;

R_2 – вероятность опасных парных (зависимых) отказов;

R_3 – вероятность отказов, обусловленных человеческим фактором.

Критичность отказа при этом оценивается некоторым удельным средним числом аварий

$$n = M(N)/T,$$

где $M(N)$ – математическое ожидание числа аварий за 10^5 ч налета;

T – продолжительность полетов.

Определив возможность наступления n авиационных происшествий для некоторого исходного события и установив, что авария может наступить при реализации любого из них, по формуле полной вероятности можем рассчитать вероятность аварии $R_0(I_0)$ при наступлении исходного события I_0 (риск аварии):

$$R(I_0) = P I_0 \sum_{i=1}^n Q_i E_i / I_0,$$

где $P I_0$ – вероятность наступления исходного события I_0 за время T ;

$Q_i E_i / I_0$ – условная вероятность i -го происшествия для данного исходного состояния I_0 ;

E_i i -е летное происшествие (авария).

Учитывая практически небольшую частоту наступления исходных событий, принимаем распределение их вероятностей пуассоновским. Тогда интенсивность наступления аварий определяется по формуле

$$R I_0 = \lambda \sum_{i=1}^n Q_i E_i / I_0,$$

где λ – интенсивность наступления исходных событий.

Таким образом, последнее выражение позволяет более оперативно рассчитывать риск аварий, упрощенно представляя его как частоту аварий в единицу времени.

Приведенные зависимости и основные положения используются в процессе вероятностного анализа безопасности летательных аппаратов и определяют основные принципы их проектирования и эксплуатации. Самые ответственные узлы и стыки панелей крыла и фюзеляжа следует проектировать по принципу обеспечения безопасного ресурса; все остальные силовые элементы ЛА должны одновременно соответствовать требованиям допустимых повреждений и безопасных разрушений, в том числе по критерию усталостной прочности. В соответствии с этими требованиями постоянно совершенствуются нормы летной годности самолетов (НЛГС). Так, в Авиационных правилах для самолетов транспортной категории АП-25,571 наряду с принципами безопасного ресурса вводится принцип эксплуатационной живучести. Большое значение придается обеспечению живучести конструкций на случай усталостных повреждений. Определяется характер и степень повреждения элемента конструкции для гарантированного сохранения прочности при эксплуатационной нагрузке. Для проверки вероятности образования допустимых повреждений ЛА при сертификационных испытаниях на усталость наработка должна составлять не менее трех проектных ресурсов [5].

Одним из основных требований по обеспечению высокой надежности и безопасности конструкций ЛА является постоянное улучшение свойств конструкционных материалов, в частности трещиностойкости алюминиевых сплавов – основного конструкционного материала современных ЛА.

Повышению усталостной прочности соединений способствуют широко используемые в настоящее время технологические приемы поверхностного пластического деформирования деталей, а также новые типы заклепок и методы клепки. Также хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации горячекатаные плиты в клепаных конструкциях и прессованные панели в монолитных конструкциях. Этим также обеспечивается хорошая коррозионная защита конструкций.

В качестве основных видов контроля усталостных разрушений элементов ЛА в эксплуатации принимаются детальные осмотры при регламентных обслуживающих техника. При осмотрах невооруженным глазом можно обнаруживать трещины в обшивке длиной более 50 мм.

Таким образом, основанием для принятия решения о дальнейшей эксплуатации стареющих ЛА должны являться положительные результаты комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, тщательный анализ опыта эксплуатации и постоянная корректировка методов эксплуатации и технологий ремонта. Исключительное значение при этом имеют расчетно-экспериментальные исследования эксплуатационной живучести, усталостные испытания полноразмерных конструкций после длительной эксплуатации ЛА, использование современных диагностических методов, индивидуальный подход к продлению ресурса конкретного экземпляра ЛА.

Список литературы

1. Безопасность и надежность технических систем / Л. Н. Александровская [и др.]: учеб. пособие. – М.: Университетская книга: Логос, 2008.
2. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М., 1986.
3. Степин, П. А. Сопротивление материалов / П. А. Степин. – М.: Высш. шк., 1988.
4. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: учеб. пособие / В. С. Шевченко [и др.]. – Минск: Ураджай, 2001.
5. Поддержание летной годности конструкций аттестованных самолетов по условиям ресурса / В. С. Дубинский [и др.] // Тр. ЦАГИ. Вып. 2631. – 1998.

*Сведения об авторе:

Шевченко Василий Савельевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 15.03.2013 г.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ГРУППОВЫХ ВЕРОЯТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ РАССЕЙВАНИЯ ПРИ БОМБОМЕТАНИИ УДАРНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

УДК 623.41

С. Г. Дубовский, Д. И. Шипица, А. В. Рожок*

Разработана математическая модель расчета групповых вероятных отклонений рассеивания при бомбометании, отличающаяся учетом особенностей функционирования бортового оборудования беспилотного летательного аппарата, а также ошибок различных измерителей и датчиков. Предложенная модель позволяет производить анализ влияния условий боевого применения и характеристик ударного беспилотного летательного аппарата на эффективность решения задачи поражения наземного объекта в целом.

The simulator for calculating group probable deviations dispersion bombing was developed, which is different in accounts of the functioning of avionics of the drone and also in mistakes of different meters and gauges. The proposed model allows to analyze the effect of the conditions of the combat use and characteristics of the drone's impact on the effective solution of the destruction surface objects in general.

Анализ локальных войн и конфликтов последнего десятилетия показывает, что роль беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в процессе ведения боевых действий постоянно возрастает. БЛА рассматриваются военным руководством ведущих иностранных государств в качестве одного из важнейших средств повышения боевых возможностей вооруженных сил. Их боевое применение предпочтительно при выполнении задач, характеризующихся большой продолжительностью полета, повышенной опасностью и сложностью (например, в районах интенсивного огневого противодействия средств противовоздушной обороны и авиации противника, а также областях, подвергшихся радиационному, химическому или биологическому заражению). В Республике Беларусь вопросам разработки беспилотных авиационных комплексов также уделяется серьезное внимание [1].

Высокие темпы совершенствования качества современных БЛА приводят к необходимости постоянной корректировки частных боевых задач, стоящих перед ними, и оценки способности решения этих задач существующими и перспективными образцами. Одной из таких задач является нанесение ударов по наземным объектам противника. В связи с этим важнейшей проблемой, возникающей при принятии обоснованных научно-технических и военно-экономических решений по изысканию путей и направлений разработки и модернизации беспилотной авиации, по совершенствованию правил ее эксплуатации и способов боевого применения является разработка новых и уточнение существующих методик, алгоритмов и моделей оценки эффективности беспилотных авиационных комплексов и их подсистем.

В настоящее время вопросы оценки эффективности ударов по наземным объектам достаточно хорошо разработаны применительно к пилотируемой авиации [2–4]. В то же время оценка эффективности решения задач подобного рода для БЛА имеет свою специфику. Она связана с отсутствием визуального контакта летчика или одного из членов экипажа с целью, ограниченностью применения режимов ручного и директорного управления летательным аппаратом, принципиально новыми подходами к формированию бортового информационно-навигационного комплекса, систем автоматического управления и передачи данных. Условия боевого применения современных ударных беспилотных летательных аппаратов (УБЛА) практически исключают использование стрелково-пушечного и неуправляемого ракетного вооружения. В качестве основных боеприпасов рассматриваются либо управляемые средства поражения класса «воздух – поверхность», либо неуправляемые бомбы обычного или касетного типа. Все указанные вопросы требуют дополнительной проработки и уточнения, что и определяет актуальность данной статьи.

Следует заметить, что ввиду высокой стоимости управляемое вооружение класса «воздух – поверхность» является оружием избирательного типа. Оно, как правило, используется для поражения особо важных объектов противника (объектов противовоздушной обороны, командных пунктов и т. д.), а также для нанесения точечных ударов по объектам военного назначения в жилых районах либо в условиях близкого соприкосновения своих войск и войск противника. Учитывая это обстоятельство, далее сосредоточимся на рассмотрении задачи оценки эффективности боевого применения неуправляемого бомбардировочного вооружения гипотетическим УБЛА.

Наиболее широкое распространение для оценки эффективности поражения наземных целей неуправляемыми авиационными средствами поражения получила единая зонная методика [5]. Методика применима как для одиночных, так и для групповых (площадных) объектов действия авиации и работоспособна при любом числе применяемых в одной атаке средств поражения. Она учитывает влияние организации огневых воздействий по расчетному объекту и позволяет производить вычисления для различных типов летательных аппаратов. Но применение единой зонной методики для оценки эффективности УБЛА имеет свои особенности. Дело в том, что вероятные отклонения группового рассеивания $E_{\text{гг}}$, $E_{\text{гд}}$ в зависимости от конкретного типа самолета (вертолета) определяются нормативными эмпирическими формулами. Естественно, возникает необходимость расчета данных величин и для ударного беспилотного летательного аппарата с учетом тактико-технических характеристик его прицельной системы, системы автоматического управления (САУ) и другого бортового оборудования, а также условий боевого применения.

Для решения данной задачи авторами предлагается математическая модель расчета групповых вероятных отклонений рассеивания при бомбометании. При разработке модели сделаны следующие упрощающие задачу оценки точности допущения, которые не приведут к потере наиболее существенных качеств рассматриваемого процесса.

1. На этапе дальнего наведения ударный БЛА выведен в область пространства относительно цели, в пределах которой обеспечивается ее обнаружение и захват бортовыми информационными средствами на максимальных дальностях.

2. Процесс самонаведения летательного аппарата на наземную цель происходит в горизонтальной плоскости на высоте бомбометания. Модуль вектора скорости УБЛА V_1 постоянен.

3. Управление беспилотным летательным аппаратом осуществляется в автоматическом режиме работы САУ реализацией координированного разворота путем изменения угла крена (угол скольжения поддерживается равным нулю).

4. Сброс авиационной бомбы осуществляется наземным оператором вручную.

5. Ошибки различных измерителей и устройств распределены по нормальному закону.

6. Наземная цель принимается как неподвижная материальная точка, координаты которой относительно УБЛА в начальный момент времени известны.

Таким образом, с учетом принятых допущений, на рисунке 1 приведена структурная схема математической модели, представляющая собой совокупность дифференциальных уравнений и алгебраических зависимостей, которые можно разделить на четыре группы. Далее остановимся на каждой группе подробнее.

При разработке математической модели информационно-вычислительной системы УБЛА предполагалось, что она состоит из угломерного устройства и вычислителя. Задачей угломерного устройства является измерение положения наземной цели относительно беспилотного летательного аппарата. Задачей вычислителя является расчет основных элементов траектории падения авиационной бомбы, определение параметра управления в горизонтальной плоскости, а также момента сброса бомбы.

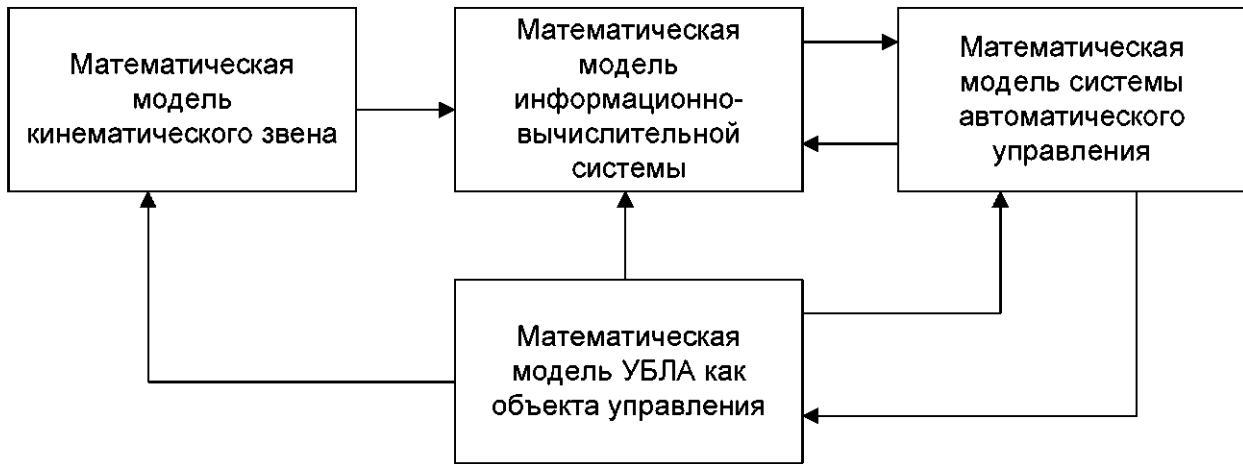


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели расчета групповых вероятных отклонений рассивания

Как угломерное устройство, прицельная система УБЛА описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка [6, с. 136]:

$$\ddot{\Delta}_{г.и} + \frac{1}{T_{п.у}} \dot{\Delta}_{г.и} + \frac{K_y}{T_{п.у}} \Delta_{г.и} = \frac{K_y}{T_{п.у}} \Delta_{г} + \frac{K_y}{T_{п.у}} X_1, \quad (1)$$

где $\Delta_{г.и}$ – измеренное значение угла ориентации цели относительно УБЛА в горизонтальной плоскости;

$T_{п.у}$ – постоянная времени пеленгатора;

K_y – коэффициент усиления угломерного устройства;

$\Delta_z = \nu - \varphi_1$ – истинное значение угла ориентации цели относительно УБЛА в горизонтальной плоскости;

ν – угол ориентации вектора дальности до цели в горизонтальной плоскости в неподвижной земной системе координат (СК);

φ_1 – курсовой угол УБЛА в неподвижной земной СК;

X_1 – ошибка измерения угла $\Delta_{г}$, вызванная внутренними шумами (информационным противодействием противника).

Для формирования параметра управления вычислитель определяет угловую поправку бомбометания в горизонтальной плоскости β_r . Формула расчета данной поправки имеет вид

$$\beta_r = \arctg \frac{T'(U \cdot X_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_v)}{A'_0 + T'(U \cdot X_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_v)}, \quad (2)$$

где T' – время падения авиационной бомбы, рассчитанное с учетом случайных ошибок в измерении высоты и скорости полета УБЛА;

U – скорость ветра;

X_2 – ошибка измерения скорости ветра;

A'_0 – штилевой относ авиационной бомбы, рассчитанный с учетом случайных ошибок в измерении высоты и скорости полета УБЛА;

φ_v – курсовой угол ветра в неподвижной земной СК.

Основные элементы траектории падения бомбы определяются решением уравнения движения центра масс АСП. С учетом классических допущений [7, с. 3] модель движения бомбы описывается двумя дифференциальными уравнениями:

$$\ddot{x} = -F(H, v)v_x, \quad (3)$$

$$\ddot{y} = F'(H, v)v_y - g, \quad (4)$$

где x – относ бомбы относительно точки сброса в направлении полета УБЛА;
 y – положение бомбы относительно земли по высоте;
 $F(H, v)$ – функция сопротивления [8, с. 52];
 v_x – скорость бомбы в направлении полета УБЛА;
 v_y – скорость бомбы в вертикальной плоскости;
 g – ускорение свободного падения.

Решение уравнений (3) и (4) прекращается при выполнении условия $y = 0$. Зафиксированная при этом текущая координата x и будет соответствовать штилевому отношению бомбы A'_0 , а время интегрирования – времени падения бомбы T'' .

Параметр управления в горизонтальной плоскости $\Delta_{r,y}$ вычислитель прицела формирует в соответствии с формулой

$$\Delta_{r,y} = \Delta_{r,n} + \beta_r. \quad (5)$$

Момент сброса бомбы определяется при выполнении условия

$$\sqrt{(D + X_3)^2 - (H - X_4)^2} \cos \beta_r = A'_0 + T''(U + X_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_n) + X_5, \quad (6)$$

где D – наклонная дальность до цели;
 X_3 – ошибка измерения дальности;
 H – высота бомбометания;
 X_4 – ошибка измерения высоты;
 X_5 – линейная ошибка, вызванная субъективным фактором (запаздыванием либо упреждением оператора).

Математическая модель САУ включает уравнения, определяющие зависимость между отклонениями элеронов δ_y и параметром управления $\Delta_{r,y}$ [6, с. 163–168]:

$$\dot{\gamma}_{np} + \frac{1}{T_o} \gamma_{np} = \frac{K_d}{T_d} \Delta_{r,y}, \quad (7)$$

$$\dot{\delta}_y = K_b - K_{САУ} [\gamma_{np} - K_{o,c} (\gamma - X_6)] - K_{a,d} \dot{\gamma}, \quad (8)$$

где γ_{np} – требуемый угол крена;
 K_d, T_d – коэффициент усиления и постоянная времени подсистемы сигналов автоматического управления;
 K_b – коэффициент передачи бустера;
 $K_{САУ}$ – коэффициент передачи следящей системы САУ;
 $K_{o,c}$ – коэффициент усиления в цепи обратной связи по крену;
 γ – фактический угол крена;
 X_6 – ошибка в измерении угла крена;
 $K_{a,d}$ – коэффициент передачи автоматического демпфера.

Модель управляемого объекта устанавливает связь параметров его движения с отклонениями элеронов [9, с. 126]. Она состоит из уравнения, характеризующего движение УБЛА

вокруг центра масс, а также уравнения, описывающего движение центра масс летательного аппарата. Динамическое уравнение движения УБЛА вокруг центра масс имеет вид

$$\ddot{\gamma} + \frac{1}{T_{o,y}} \dot{\gamma} = -\frac{K_{o,y}}{T_{o,y}} \delta_a, \quad (9)$$

где $K_{o,y}, T_{o,y}$ – коэффициент усиления и постоянная времени объекта управления.

Движение центра масс летательного аппарата, совершающего координированный разворот, определяется зависимостью

$$\dot{\phi}_1 = -\frac{g}{V_1} \operatorname{tg} \gamma. \quad (10)$$

Кинематические уравнения связывают параметры взаимного положения беспилотного летательного аппарата и наземной цели с параметрами движения УБЛА в земной СК. С учетом допущения о неподвижности цели математическая модель кинематического звена может быть представлена в виде

$$\dot{D}_r = -V_1 \cos(\nu - \phi_1), \quad (11)$$

$$\dot{\nu} = \frac{V_1 \sin(\nu - \phi_1)}{D_r}. \quad (12)$$

При этом наклонная дальность до цели D связана со своей горизонтальной проекцией D_r , входящей в выражения (11) и (12), зависимостью

$$D = \sqrt{D_r^2 + H^2}. \quad (13)$$

В состав модели кинематического звена следует также включить формулы расчета ошибок бомбометания по дальности и направлению, которые для решаемой задачи примут вид

$$\Delta X = D_r \cos(\nu - \phi_1) - A_0 - UT \cos(\phi_1 - \phi_n), \quad (14)$$

$$\Delta Z = D_r \sin(\nu - \phi_1) - UT \sin(\phi_1 - \phi_n), \quad (15)$$

где A_0 – штилевой относ авиационной бомбы, рассчитанный для истинного значения высоты и скорости полета УБЛА;

T – время падения авиационной бомбы, рассчитанное для истинного значения высоты и скорости полета УБЛА.

Таким образом, модель расчета групповых вероятных отклонений рассеивания представляет собой систему уравнений (1)–(15). Модель позволяет реализовать во времени процесс полета ударного беспилотного летательного аппарата с момента захвата наземной цели бортовыми информационными средствами до момента сброса авиационной бомбы. Многократное воспроизведение данного процесса обеспечивает расчет вероятных отклонений группового рассеивания $E_{xт}, E_{zт}$ методом статистических испытаний по формулам:

$$m_x = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta X_i, \quad E_{xт} = 0,674 \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\Delta X_i - m_x)^2},$$

$$m_z = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta Z_i, \quad E_{zт} = 0,674 \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\Delta Z_i - m_z)^2},$$

где $\Delta X_i, \Delta Z_i$ – случайные ошибки бомбометания при i -м боевом применении;
 k – число испытаний.

Рассмотренная выше математическая модель расчета вероятных отклонений группового рассеивания реализована в виде компьютерной программы в среде программирования Delphi. Интерфейс программного средства состоит из трех окон.

При работе с программой условия боевого применения необходимо ввести в соответствующие ячейки рабочего окна 1 (рисунок 2).

Вероятные отклонения рассеивания при бомбометании (ввод исходных данных)

Условия боевого применения | Характеристики БЛА и его бортового оборудования | Точностные характеристики ПНК

7000 дальность до цели, м

3000 высота полета БЛА, м

150 скорость БЛА, м/с

30 угол ориентации вектора дальности в ГП, град

15 курсовой угол БЛА, град

0,7 баллистический коэффициент

Характеристики ветра

10 скорость ветра, м/с

90 направление ветра, град

Далее

Рисунок 2 – Рабочее окно 1

На рисунке 3 представлено рабочее окно 2. В ячейки данного окна вводятся характеристики УБЛА и его бортового оборудования. Предварительный расчет этих характеристик производится в соответствии с тактико-техническими характеристиками конкретного беспилотного летательного аппарата, а также общими рекомендациями, изложенными в литературе [6, 9].

Вероятные отклонения рассеивания при бомбометании (ввод исходных данных)

Условия боевого применения | Характеристики БЛА и его бортового оборудования | Точностные характеристики ПНК

Характеристики информационно-вычислительной системы

5 коэффициент усиления, 1/с

0,1 постоянная времени, с

65 макс угол обзора по курсу, град

3,5 мгновенный угол поля зрения, град

Характеристики системы автоматического управления

0,12 коэффициент усиления, м/рад

0,05 постоянная времени, с

32 коэффициент передачи САУ, кгс/м

0,07 коэффициент передачи бустера, рад/кгс

0,56 коэффициент передачи автоматического демпфера, кгс²/с

0,02 коэффициент обратной связи по крену, м/рад

0,16 ограничение требуемого угла крена, град

20 макс угол отклонения элеронов, град

Характеристики объекта управления (БЛА)

35 коэффициент усиления, 1/с

0,072 постоянная времени, с

75 ограничение по углу крена, град

Далее

Назад

Рисунок 3 – Рабочее окно 2

Точностные характеристики прицельно-навигационного комплекса вводятся в ячейки рабочего окна 3 (рисунок 4). В этом же рабочем окне выводятся окончательные результаты расчетов.

Рисунок 4 – Рабочее окно 3

В качестве демонстрации возможностей разработанной модели на рисунках 5, 6 представлены результаты расчета вероятных отклонений группового рассеивания авиационной бомбы $E_{xг}$, $E_{zг}$.

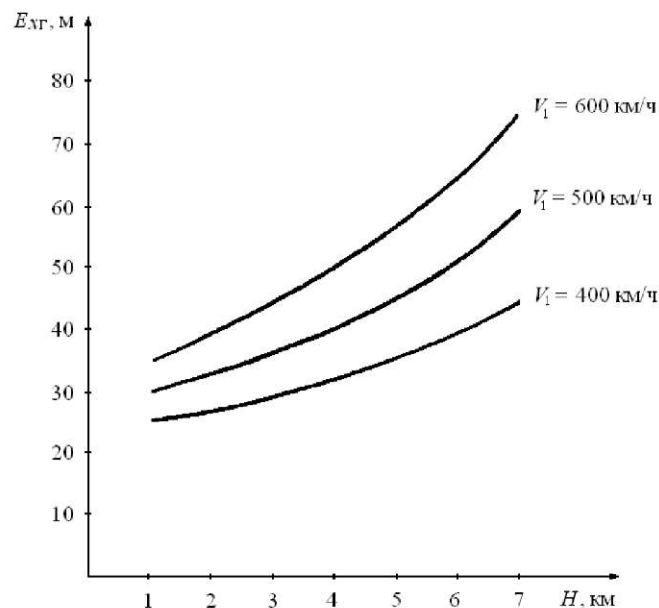


Рисунок 5 – Зависимость группового вероятного отклонения в направлении захода от скорости полета и высоты бомбометания

Моделирование проводилось для фиксированных значений баллистического коэффициента бомбы, скорости и направления ветра, а также параметров, определяющих взаимное положение УБЛА и цели. Диапазон высот бомбометания изменялся в пределах от 1000 до 7000 м, а скоростей полета УБЛА – от 400 до 600 км/ч.

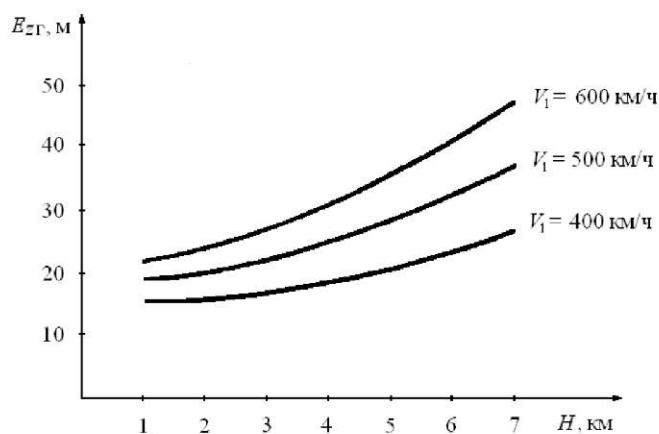


Рисунок 6 – Зависимость группового вероятного отклонения в боковом направлении от скорости полета и высоты бомбометания

При моделировании в качестве элемента информационно-вычислительного устройства рассматривался типовой радиолокационный визир с соответствующими параметрами. Характеристики САУ и объекта управления подобраны таким образом, чтобы обеспечить угловую скорость разворота в горизонтальной плоскости в пределах 8–10 град/с. Точностные характеристики прицельно-навигационного комплекса, которые были введены в рабочее окно 3, определены на основе анализа литературы [8, 10, 11].

Таким образом, полученные результаты подтверждают работоспособность модели и демонстрируют ее возможности решать следующие задачи:

- анализировать влияние условий боевого применения, характеристик УБЛА, его бортового оборудования, а также характеристик средств поражения на точность бомбометания;
- формировать тактико-технические требования к разрабатываемым образцам ударных беспилотных летательных аппаратов;
- разрабатывать рекомендации по рациональному применению УБЛА.

Список литературы

1. Концепция создания беспилотных авиационных комплексов и оснащения ими Вооруженных Сил / М-во обороны Респ. Беларусь. – Минск, 2007. – 17 с.
2. Вервейко, Б. М. Эффективность боевого применения комплексов авиационного вооружения: учеб. / Б. М. Вервейко, Д. И. Шипица. – Минск: ВА РБ, 2003. – 325 с.
3. Лисицкий, П. Е. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / П. Е. Лисицкий. – М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1994. – 386 с.
4. Калабухова, Е. П. Основы теории эффективности воздушной стрельбы и бомбометания: учеб. / Е. П. Калабухова. – М.: Машиностроение, 1991. – 331 с.
5. Мильграм, Ю. Г. Основы единой зонной методики оценки эффективности применения авиационных средств поражения по наземным (морским) объектам: учеб. пособие / Ю. Г. Мильграм, В. А. Ерохин; под ред. Ю. Г. Мильграма. – М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1985. – 247 с.
6. Максимов, М. В. Авиационные системы радиопередачи / М. В. Максимов, Г. И. Горгонов, В. С. Чернов. – М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1984. – 364 с.
7. Дубовский, С. Г. Расчет прицельных данных при стрельбе и бомбометании / С. Г. Дубовский, А. И. Антонов, Р. Р. Бадамшин. – Минск: ВА РБ, 2008. – 50 с.
8. Дорошков, В. П. Авиационные прицельные системы: учеб. / В. П. Дорошков. – Минск: ВА РБ, 2008. – 423 с.
9. Малкин, В. А. Системы радиопередачи летательных аппаратов: учеб. / В. А. Малкин. – Минск: ВА РБ, 2011. – 276 с.

10. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны / УО «Военная академия Республики Беларусь», Центр военных исследований и информатизации; редкол.: И. П. Азаренок [и др.]. – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2009. – 511 с.

11. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / М. Н. Красильщиков [и др.]; под общ. ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. – М.: Физматлит, 2003. – 280 с.

*Сведения об авторах:

Дубовский Сергей Геннадьевич.

Шипица Дмитрий Иванович.

Рожок Александр Владимирович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 12.03.2013 г.

УЧЕТ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ КОРРЕКЦИИ ДАЛЬНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

УДК 531.383

И. Г. Ильёв, А. Ф. Кривец, Ю. Н. Демьянович, А. Ф. Рудник*

В статье предлагается методика учета работы аппаратуры коррекции дальности на активном участке полета реактивного снаряда при моделировании его пространственного движения. Это позволяет исследовать влияние аппаратуры коррекции дальности на точность стрельбы.

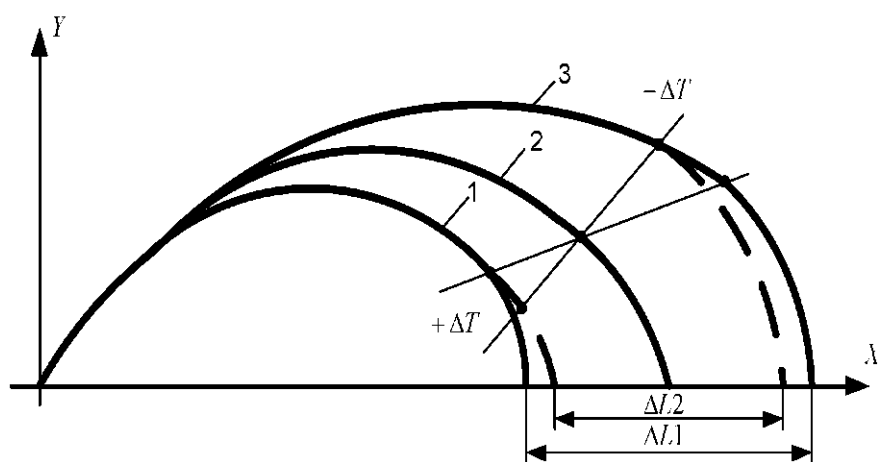
A technique for taking into consideration the operation of the range correction apparatus on the active part of the jet propelled projectile path in the process of modeling its movement in flight is offered in the article. This allows to research the range correction apparatus influence on fire accuracy.

Моделирование полета неуправляемого снаряда реактивной системы залпового огня (РСЗО) путем решения полной системы уравнений, описывающих пространственное движение снаряда, рассмотрено в [1]. Однако существуют реактивные снаряды (РС), которые имеют две системы управления на активном участке траектории (АУТ) – систему угловой стабилизации (СУС) и аппаратуру коррекции дальности (АКД).

Система угловой стабилизации обеспечивает удержание стартовых значений углов тангажа и рыскания после выхода РС из пусковой направляющей за счет корректирующего реактивного двигателя, расположенного в носовой части снаряда. Учет работы СУС в модели полета снаряда рассмотрен в [2].

Аппаратура коррекции дальности предназначена для коррекции дальности за счет временной поправки к времени вскрытия кассетной головной части, определяемой в соответствии с измеряемыми параметрами движения снаряда на АУТ.

Траектория полета РС может отличаться от расчетной, что обусловлено влиянием различных факторов, основными из которых являются отклонение реальной силы тяги двигателя и времени его работы от номинальных значений, заложенных в таблицы стрельбы. Это приводит к изменению траектории полета РС (рисунок 1), следствием чего было бы изменение координат точки вскрытия кассетной боевой части (КБЧ) и возникновение промаха ΔL_1 . Из рисунка видно, что для уменьшения промаха до ΔL_2 необходимо произвести вскрытие КБЧ позже $+\Delta T'$ в случае режима пониженной тяги и раньше $-\Delta T'$ в случае повышенной.



1 – режим пониженной тяги; 2 – номинальная тяга; 3 – режим повышенной тяги

Рисунок 1 – Траектории полета РС в вертикальной плоскости

Для реактивных снарядов исключаются методы управления дальностью полета путем отсечки тяги двигателя. Целесообразно использование наиболее простых методов,

не требующих дорогостоящих приборов и больших предварительных вычислений на земле. К их числу относится метод коррекции дальности, который нашел применение в РС в силу своей простоты, надежности и достаточной точности.

Выражение для дальности полета реактивного снаряда может быть представлено в виде

$$D = D(\theta_a, V_a, \tau_a, T_{\text{раск}}),$$

где θ_a – угол наклона траектории (угол тангажа), V_a – скорость реактивного снаряда в конце АУТ, τ_a – время АУТ, $T_{\text{раск}}$ – время раскрытия КБЧ.

Реальные параметры движения отличаются от расчетных $\theta_a^p, V_a^p, \tau_a^p$ значений и могут быть записаны в виде

$$\theta_a = \theta_a^p + \Delta\theta, \quad V_a = V_a^p + \Delta V, \quad \tau_a = \tau_a^p + \Delta\tau, \quad T_{\text{раск}} = T_{\text{исч}} + \Delta T,$$

где $\Delta\theta, \Delta V, \Delta\tau, \Delta T$ – отклонения параметров движения РС от расчетных.

Так как РС оснащен СУС, то можно считать $\Delta\theta \approx 0$, и тогда отклонение РС по дальности ΔD запишется в виде

$$\Delta D = D^V \Delta V + D^\tau \Delta\tau + D^T \Delta T, \quad (1)$$

где $D^V = \left(\frac{\partial D}{\partial V} \right)_{\tau_a^p}$, $D^\tau = \left(\frac{\partial D}{\partial \tau} \right)_{\tau_a^p}$, $D^T = \left(\frac{\partial D}{\partial T} \right)_{T_{\text{исч}}}$ – частные производные, или баллистические

коэффициенты, показывающие, на сколько изменится дальность полета при изменении соответствующего параметра на единицу.

Представив (1) в виде $\Delta D = \Delta D_1 + \Delta D_2$, где $\Delta D_1 = D^V \Delta V + D^\tau \Delta\tau$ а $\Delta D_2 = D^T \Delta T$, не трудно заметить, что если значения ΔD_1 и ΔD_2 будут равны по величине, но противоположны по знаку, то $\Delta D = 0$. Для решения этой задачи в конце АУТ фиксируются отклонения ΔV и $\Delta\tau$ от расчетных величин, а затем с учетом коэффициентов D^V, D^τ, D^T и знака ΔD_1 рассчитывается компенсационная временная поправка

$$\Delta T = K_1 \Delta V + K_2 \Delta\tau, \quad (2)$$

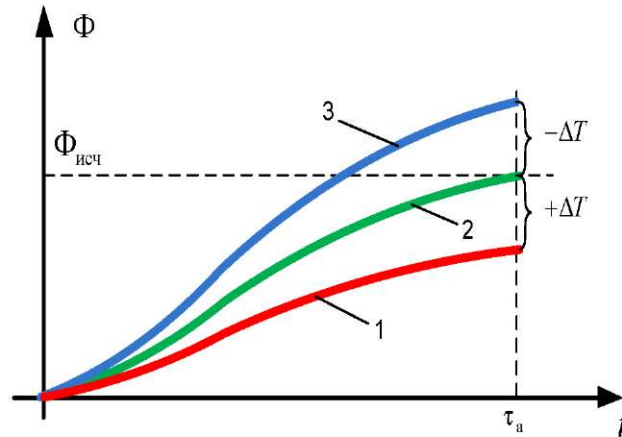
где $K_1 = \frac{D^V}{D^T}$, $K_2 = \frac{D^\tau}{D^T}$ – баллистические коэффициенты, показывающие, на сколько нужно изменить поправку, чтобы компенсировать отклонение ΔV или $\Delta\tau$ от расчетных значений на единицу.

В РСЗО временная поправка к расчетному времени вскрытия КБЧ рассчитывается по формуле

$$\Delta T = \Phi_{\text{исч}} - K_1 V_a + K_2 \tau_a,$$

где $\Phi_{\text{исч}} = K_1 V_a^p + K_2 \tau_a^p$ – исчисленное значение функционала.

Коэффициенты K_1 и K_2 , исчисленное значение функционала $\Phi_{\text{исч}}$ и время вскрытия КБЧ являются данными полетного задания и рассчитываются на земле. Реальное значение функционала $\Phi = K_1 V_a + K_2 \tau_a$ определяется в полете РС на момент окончания АУТ. Знак поправки ΔT зависит от соотношения между значениями функционалов $\Phi_{\text{исч}}$ и Φ . В свою очередь, величина Φ будет больше, если двигатель РС работает в форсированном режиме, и наоборот, значение Φ меньше, если тяга двигателя меньше номинальной. На рисунке 2 показан характер изменения величины Φ от знака поправки ΔT .



1 – режим пониженной тяги; 2 – номинальная тяга; 3 – режим повышенной тяги

Рисунок 2 – Характер изменения величины функционала Φ

Для технической реализации выражения (2) на борту РС имеются струнный дифференциальный акселерометр с определенной зоной нечувствительности и электронно-вычислительное устройство.

После подъема пакета направляющих на угол пуска акселерометр измеряет сигнал, пропорциональный проекции ускорения свободного падения, с систематическими погрешностями, связанными с несимметричностью прибора и т. д. Влияние этих факторов устраняется путем вычета этого сигнала из показаний акселерометра в процессе полета, т. е. акселерометр измеряет действующее ускорение РС a . В вычислительном устройстве путем интегрирования определяется скорость РС, а также время АУТ τ и значение функционала Φ для данного снаряда. В момент окончания АУТ вычисляется значение ΔT , которое с учетом знака алгебраически суммируется со значением $T_{исч}$ в электронно-временном устройстве. Когда время полета РС станет равным $T_{исч} \pm \Delta T$, происходит раскрытие КБЧ.

Структурная схема аппаратуры коррекции дальности, реализующая изложенный выше метод, показана на рисунке 3.

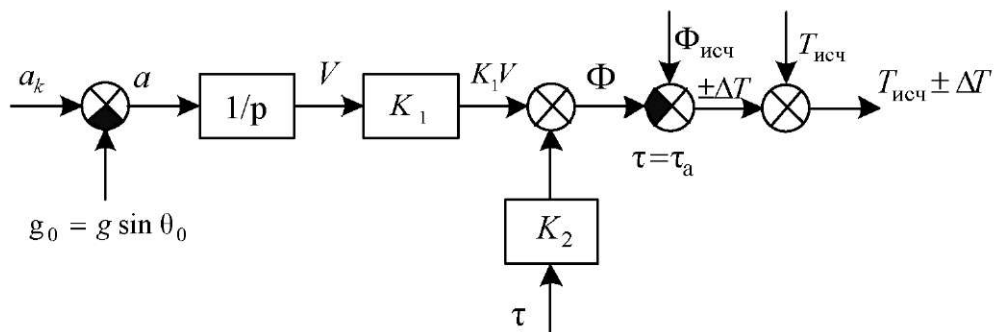


Рисунок 3 – Структурная схема АКД

Модельный блок системы АКД в среде MATLAB Simulink, реализующий вышеуказанную структуру, представлен на рисунке 4.

Ускорение, действующее вдоль продольной оси связанной системы координат РС и являющееся входным воздействием для АКД, формируется в процессе решения системы дифференциальных уравнений, описывающих пространственное движение снаряда [1]. Через управляемый ключ Switch 1 оно поступает на интегрирующее звено. Интегрирование начинается от начального значения скорости полета снаряда. В момент времени окончания АУТ

интегрирование прекращается путем коммутации нулевого значения на вход интегратора. Таким образом, получаем значение скорости снаряда в конце АУТ. Момент времени окончания АУТ рассчитывается по достижении ракетой полетной массы, т. е. по выгоранию топлива. Текущая масса ракеты рассчитывается путем вычитания на интегрирующем звене массы секундного расхода топлива из начальной массы снаряда в момент вылета из пусковой направляющей. Аналогично через управляемый ключ Switch 2 на следующем за ним интеграторе рассчитывается время окончания АУТ снаряда.

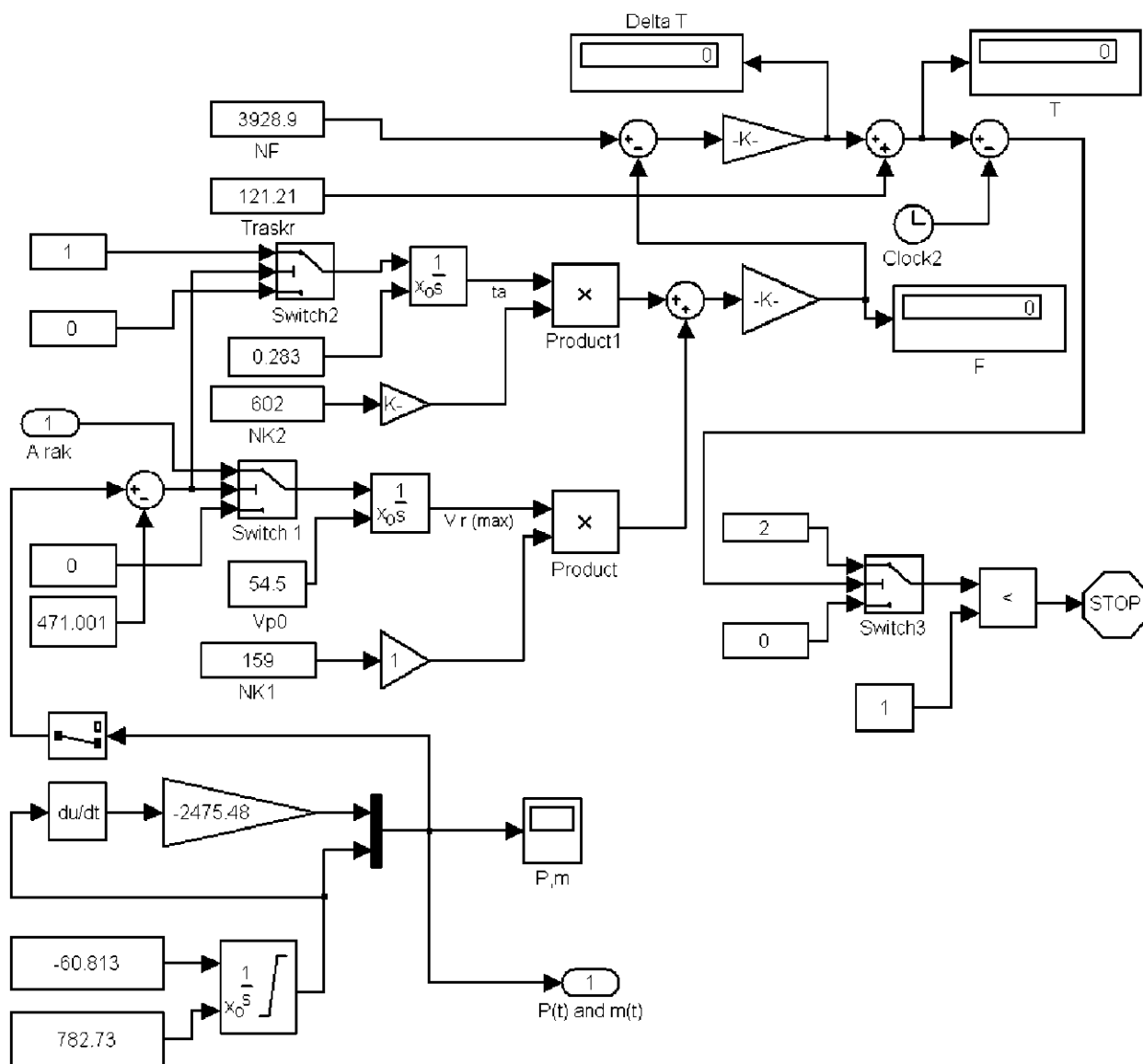


Рисунок 4 – Модельный блок расчета времени вскрытия КБЧ реактивного снаряда

Значения коэффициентов NK_1 , NK_2 , численного функционала NF и численного времени раскрытия $T_{раск}$ вводятся перед началом. Таким образом, к моменту окончания АУТ реактивного снаряда в модельном блоке рассчитывается текущее значение функционала, которое вычитается из численного значения функционала, и на основе этой разности формируется временная поправка к времени вскрытия КБЧ относительно численного времени. Из этого значения вычитается текущее время, и при их равенстве происходит останов модели полета РС.

Исходными данными для проведения моделирования полета реактивного снаряда с учетом работы аппаратуры коррекции дальности взяты следующие значения: $\theta_0 = 45^\circ$; $NF = 3928,9$; $T_{раск} = 121,21$ с; $NK_1 = 159$; $NK_2 = 602$.

Траектория полета РС моделируется после вылета его из пакета направляющих боевой машины при следующих начальных условиях: начальная скорость $V_{p0} = 54,5$ м/с, время выхода из пакета 0,283 с; масса снаряда уменьшена пропорционально выгоревшему топливу.

В таблице приведены значения результатов моделирования полета реактивного снаряда при номинальном значении импульса реактивной силы $I = I_1$ и вариантах отклонения от номинального значения в обе стороны.

Координаты точки вскрытия КБЧ с элементами конечного участка траекторий полета РС в вертикальной плоскости, полученные по данным моделирования, приведены на рисунке 5.

Таблица – Значения параметров полета РС при различных режимах работы двигателя

I , м/с	ΔT , с	$T_{\text{раск}}$, с	X , м	Y , м	Z , м	$V_{\text{раск}}$, м/с	θ , град
$I = I_1$	0,08	121,3	68 080	4 138	0,7	541,5	-48,66
$I = I_1 - 10$	1,374	123,1	68 070	3 173	12,23	512,2	-50,48
$I = I_1 - 20$	3,661	124,9	67 980	2 253	85,25	482,5	-52,35
$I = I_1 + 10$	-1,71	119,5	67 960	5 063	-18,22	566,7	-46,98
$I = I_1 + 20$	-3,502	117,7	67 820	6 128	-33,23	593,6	-45,16

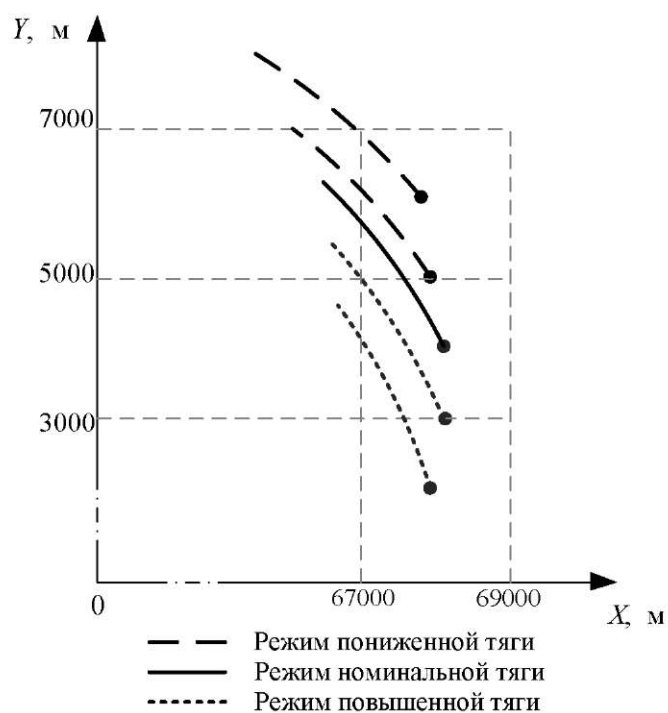


Рисунок 5 – Участок траекторий полета РС при различных режимах работы реактивного двигателя в вертикальной плоскости

Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что при стрельбе РСЗО на максимальную дальность при номинальном единичном импульсе реактивной силы происходит раскрытие КБЧ РС на расчетной высоте. При работе двигательной установки РС в режиме пониженной тяги происходит раскрытие кассетной ГЧ на более низких высотах. И наобо-

рот, при работе двигательной установки РС в режиме повышенной тяги происходит раскрытие КБЧ на высоте, превышающей высоту вскрытия при работе двигателя на номинальной тяге. При этом дальность раскрытия КБЧ РС изменяется, как и следовало ожидать, в незначительных пределах.

Таким образом, предложенная методика позволяет учесть работу аппаратуры коррекции дальности в математической модели пространственного движения реактивного снаряда.

Список литературы

1. Ильёв, И. Г. Математическая модель полета неуправляемого реактивного снаряда / И. Г. Ильёв, Ю. Н. Демьянович, С. А. Шабан // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2005. – № 4 (9). – С. 59–61.

2. Ильёв, И. Г. Система угловой стабилизации в математической модели движения реактивного снаряда 9М55К / И. Г. Ильёв, В. М. Лагутин, С. С. Стома // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 19. – С. 53–61.

*Сведения об авторах:

Ильёв Игорь Георгиевич,

Кривец Александр Фёдорович,

Демьянович Юрий Николаевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Рудник Александр Фёдорович,

УО «Белорусский государственный университет».

Статья поступила в редакцию 23.10.2012 г.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТОЛЕТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

УДК 004.942

И. Н. Комаров, В. М. Берикбаев, С. В. Акулич, А. В. Кононенко*

В статье рассматриваются подходы к созданию модели боевого применения отдельного вертолетного отряда радиоэлектронной борьбы. Описываются принципы функционирования разработанной модели вертолета-постановщика помех. Приводятся результаты оценки эффективности боевого применения вертолетного отряда радиоэлектронной борьбы в различных тактических ситуациях.

The approach to the development of the battle use model of the independent EW helicopter detachment is given in the article. The functioning principles of the developed model of the noise jammer helicopter are described in the article. The results of the estimate of efficiency of the battle use of the EW helicopter detachment in different tactical situations are shown by the authors.

В настоящее время основу сил радиоэлектронной борьбы (РЭБ) с воздушным противником составляют наземные и авиационные подразделения РЭБ, входящие в состав оперативно-тактических командований. К ним относятся подразделения РЭБ с самолетными средствами (РЭБ-С) и отдельный вертолетный отряд РЭБ [1, 2].

Имеющиеся на вооружении вертолеты РЭБ (типа Ми-8 МТП, Ми-8 СМВ) оснащены станциями активных помех (СПС-63, СПС-66, СПС-88), которые предназначены для групповой защиты вертолетов и самолетов путем создания активных маскирующих помех наземным радиолокационным станциям (РЛС) обнаружения воздушных целей, наведения истребительной авиации, целеуказания зенитным ракетным комплексам, а также бортовым радиолокационным станциям самолетов (БРЛС) противника [2]. Вертолетные станции помех могут работать в следующих режимах: излучение несинхронно-скользящих помех как по всему диапазону, так и в заданном поддиапазоне; излучение синхронно-скользящих помех с перестройкой несущей частоты помехового сигнала относительно выбранной для каждого передатчика одной из фиксированных частот; излучение заградительных помех на фиксированных участках рабочего диапазона частот.

Для оценки эффективности боевого применения наземных средств РЭБ разработана соответствующая комплексная математическая имитационная модель, которая в настоящее время проходит апробацию в службе РЭБ Главного штаба Военно-воздушных сил (ВВС) и войск противовоздушной обороны (ПВО). Для полной оценки эффективности вклада РЭБ при совместных боевых действиях в составе группировки ПВО необходимо разработать новую модель боевого применения вертолетного отряда РЭБ и включить ее в состав существующего комплекса моделей боевых действий (КМБД) «Свислочь». Данная модель позволит на основе моделирования различных вариантов боевых действий оценить эффективность прикрытия боевых порядков нашей авиации от обнаружения и поражения средствами ПВО противника путем радиоподавления наземных РЛС. Основным достоинством разрабатываемой модели является возможность моделирования в пространстве и во времени двустороннего противоборства вертолетов РЭБ и радиотехнических систем противника с получением автоматизированным способом широкого спектра показателей эффективности.

В настоящее время в существующем КМБД группировки ВВС и войск ПВО моделей вертолетов (ударных, разведывательных) не имеется. Научные исследования, связанные с оценкой эффективности боевого применения ударных вертолетов противника и разработкой соответствующих моделей, изложены в [3]. Реализация алгоритмов функционирования нового воздушного объекта – вертолета – велась на основе модели одиночного самолета. С учетом особенностей модели одиночного самолета существующего КМБД (необходимость формирования траектории полета самолета, отсутствие возможности «зависания» на месте) использовался новый подход к вводу исходных данных для моделирования боевого приме-

нения вертолетов. Основным отличием, связанным с формированием исходных данных, является отсутствие необходимости формирования детерминированной траектории полета. В результате использования нового подхода достигается гибкость поведения пилота вертолета в процессе моделирования боевого применения. Необходимыми исходными данными в этом случае являются место (аэродром, площадка) дислокации вертолета и рубежи вывода его для выполнения поставленных задач. При этом в процессе полета в модель, помимо существующих способов ответных действий (применение вооружения и средств постановки помех), закладывается возможность различных вариантов маневрирования в зависимости от складывающейся обстановки. Описанный выше подход к построению модели вертолета целесообразно использовать в процессе разработки модели вертолета – постановщика помех.

Основными способами боевого применения вертолетов – постановщиков помех является создание помех из зон барражирования [2]. Выбор положения этих зон для вертолетов РЭБ осуществляется из условия непрерывного обеспечения прикрытия помехами боевого порядка самолетов и вертолетов, преодолевающих ПВО противника, и исключения возможности поражения постановщика помех активными средствами ПВО (рисунок 2). При этом в процессе выбора зон постановки помех, их пространственных параметров необходимо учесть ряд факторов, которые сложно учесть в процессе проведения расчетов. В этом случае целесообразным является использование математического имитационного моделирования, которое позволит учесть множество факторов (характеристики станций помех вертолета и РЛС противника, режимы их работы, свойства района боевых действий и т. д.), детально воспроизвести моделирование боевого применения вертолетов – постановщиков помех во времени и пространстве.

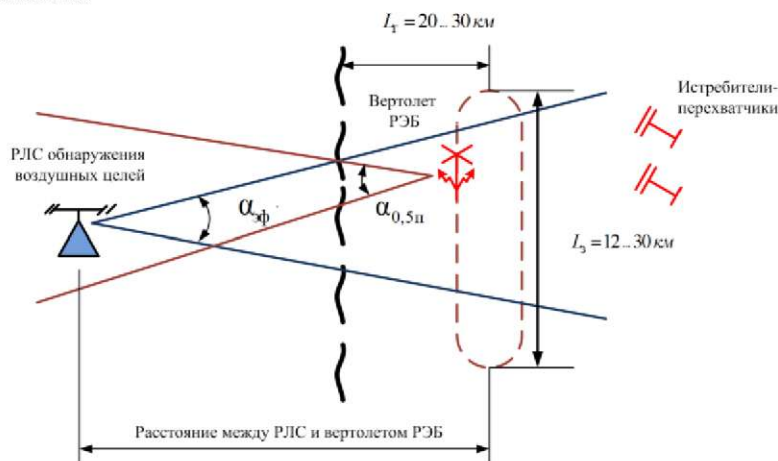


Рисунок 1 – Вариант создания помех вертолетом из зоны

При моделировании процесса применения помех вертолетом РЭБ из заданных зон направление полета постановщика помех не должно отличаться от направления, перпендикулярного к подавляемой РЛС, на величину, большую чем половина ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) $\alpha_{0,5п}$ станции помех [4]. Длина зоны подавления (L_3) рассчитывается на этапе планирования с учетом эффективного сектора подавления $\alpha_{эф}$, определяемого направлением на прикрываемые истребители, и требуемого времени прикрытия.

Если $\alpha_{эф} < \alpha_{0,5п}$, то длина зоны определяется выражением $L_3 = 2D_{ij} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{0,5п}}{2}$. При $\alpha_{эф} \geq \alpha_{0,5п}$

величина $L_3 = 2D_{ij} \operatorname{tg} \frac{\alpha_{эф}}{2}$, где D_{ij} – дальность между i -й РЛС и j -м постановщиком помех, км.

Если требуемое время прикрытия $t_{п}$ меньше времени пролета вертолетом расстояния L_3 , рассчитанного по предыдущим формулам, то длина зоны определяется выражением $L_3 = V_j t_{п}$, где V_j – путевая скорость j -го постановщика помех.

В процессе моделирования постановки помех вертолетом РЭБ минимальная высота (H_{\min}) его полета выбирается из условия обеспечения прямой видимости [4] подавляемой РЛС. Максимальная высота H_{\max} полета помехопостановщика ограничивается шириной сектора $\theta_{0,5\pi}$ излучения помехи по углу места и величиной отклонения θ_0 максимума излучения относительно горизонтальной линии:

$$H_{\max} \leq D_{ij} \operatorname{tg} \left(\theta_0 + \frac{\theta_{0,5\pi}}{2} \right).$$

Дальность подавления постановщиком помех РЛС определяется по формуле [4]:

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{K_{ii}^2 P_{ui} G_{pi} \sigma_c \Delta f_{uj}}{4\pi P_{uj} G_{uj} \Delta f_{pi} \gamma k_f}},$$

где K_{ii} – коэффициент подавления;

P_{ui} – импульсная мощность i -й РЛС, Вт;

G_{pi}, G_{uj} – коэффициенты направленного действия антенны i -й подавляемой РЛС и станции помех j -го вертолета соответственно;

σ_c – эффективная отражающая поверхность цели, которую обнаруживает РЛС противника, м²;

Δf_{uj} – ширина спектра помехи j -го вертолета, МГц;

P_{uj} – суммарная мощность передатчиков помех j -го вертолета, работающих на одинаковых частотах, Вт;

Δf_{pi} – ширина спектра сигнала i -й подавляемой РЛС, МГц;

γ – коэффициент несовпадения поляризаций помехи и сигнала;

k_f – коэффициент использования спектра помехи.

Коэффициент подавления для различных типов РЛС определяется по формулам [5]:

– для РЛС с когерентным накоплением

$$K_{ii}^2 = \frac{N_{ii} \lg P_{\text{по}}}{\lg P_{\text{лт}} - \lg P_{\text{по}}},$$

где $N_{ii} = \frac{F_{ii} \alpha_{0,5}}{6n}$ – число импульсов, накапливаемых в РЛС за один период обзора;

F_{ii} – частота следования импульсов подавляемой РЛС, Гц;

$\alpha_{0,5}$ – ширина ДНА подавляемой РЛС по уровню половинной мощности;

n – число оборотов антенны РЛС в минуту;

$P_{\text{по}}, P_{\text{лт}}$ – вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги соответственно, при которых достигается заданный эффект подавления РЛС;

– для РЛС с некогерентным накоплением

$$K_{ii}^2 = \frac{\sqrt{2,3 N_{ii} (-\lg P_{\text{по}})}}{\sqrt{(-\lg P_{\text{лт}})}}.$$

На основе вышеизложенного разработана модель боевого применения вертолета РЭБ, структурная схема которой представлена на рисунке 2.

Достоинством разработанной модели является возможность включения ее в состав существующего КМБД. Это обеспечивается правильным использованием современных принципов разработки и проектирования сложных программных комплексов. В качестве методологии при разработке данной модели использовались принципы объектно-ориентированного программирования, что позволило выделить в архитектуре модели общие

подсистемы для каждой из моделей воздушных объектов [6]. В результате модульного представления всей модели существенно сокращается время на разработку программного обеспечения, программа становится компактнее, в результате чего обеспечиваются ее оперативная настройка и совершенствование.



Рисунок 2 – Место модели вертолета РЭБ в общей архитектуре КМБД

С использованием разработанной модели был проведен ряд модельных экспериментов в целях определения рациональных способов применения вертолетов РЭБ, а также определения параметров зон барражирования вертолетов для более эффективного подавления РЛС противника и прикрытия помехами своих истребителей-перехватчиков. Результаты работы модели приведены на рисунке 3.

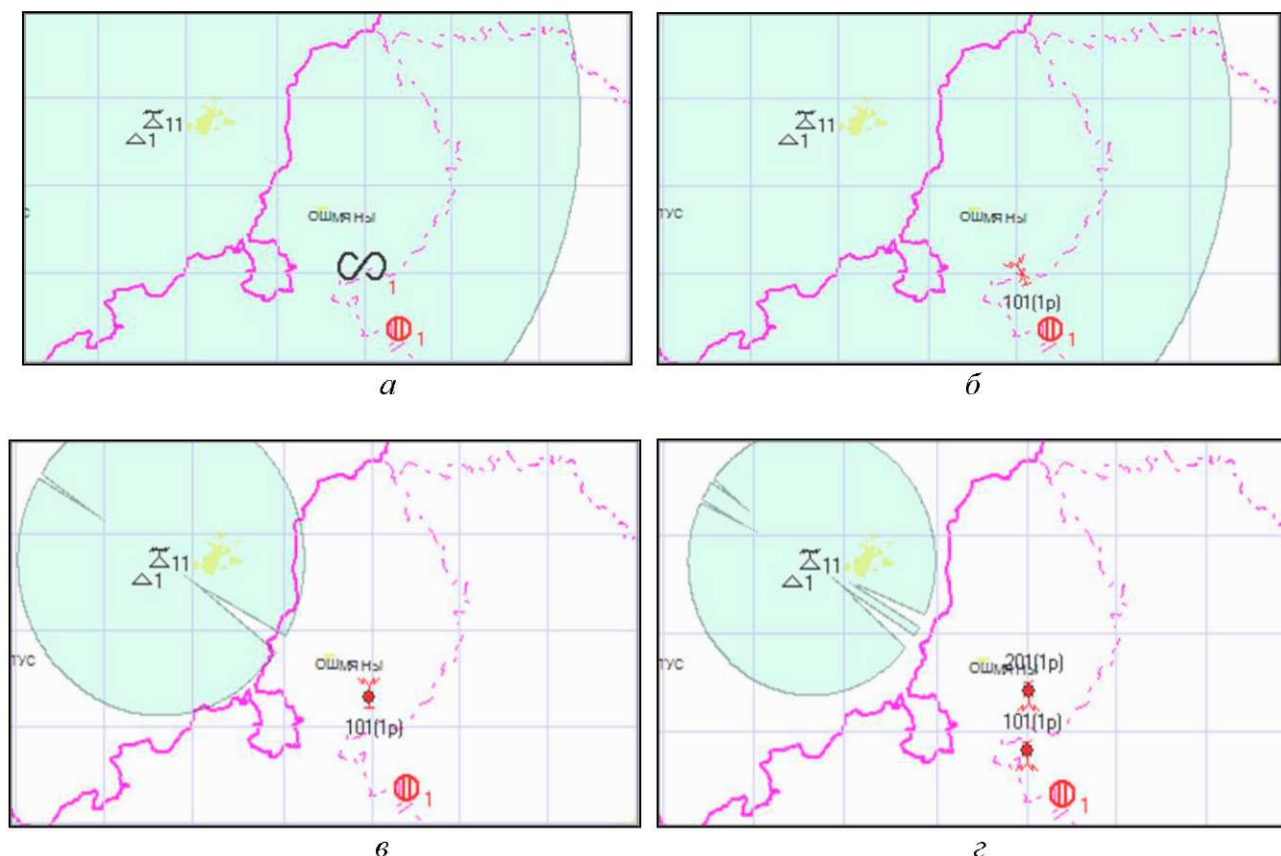


Рисунок 3 – Моделирование боевого применения вертолетов РЭБ

На рисунке 3 представлены фрагменты моделирования боевого применения вертолета – постановщика помех. Так, на рисунке 3, а в виде условных графических обозначений на цифровой карте местности представлен вариант боевой обстановки: РЛС противника, ее зона обнаружения воздушных целей с учетом рельефа местности; площадка подскока (аэродром) вертолетов РЭБ и предварительно намеченный район для зоны барражирования. На рисунке 3, б изображен вертолет РЭБ, выдвигающийся в направлении заданной зоны барражирования. При полете в зоне барражирования с заданными параметрами вертолет производит постановку помех (рисунок 3, в). На данном рисунке показан вырез в зоне обнаружения подавляемой РЛС. На рисунке 3, г представлен вариант постановки помех из зоны двумя вертолетами – постановщиками помех. Как показывают модельные эксперименты, при правильном расположении вертолетов в группе, согласовании режимов постановки помех во времени можно существенно повысить эффективность боевого применения отдельного вертолетного отряда РЭБ.

Таким образом, использование данной модели позволит рационально планировать боевое применение вертолетов РЭБ на этапе подготовки боевых действий. За счет широкого использования средств визуализации разработанная модель может стать современным инструментом для подготовки специалистов РЭБ. Кроме этого, разработанная модель боевого применения вертолетов РЭБ с учетом дальнейшей доработки может быть интегрирована в состав комплексной математической модели боевого применения частей и подразделений РЭБ.

Список литературы

1. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны / под ред. И. П. Азаренка (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2009.
2. Лящук, Г. Д. Основы организации радиоэлектронной борьбы: учеб.-метод. пособие / Г. Д. Лящук. – Минск: ВАРБ, 2006. – 215 с.
3. Берикбаев, В. М. Имитационная модель боевого применения ударного вертолета / В. М. Берикбаев, Н. В. Крупин, Г. А. Москвин // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 21 – С. 11–16.
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. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2008. – 416 с.: ил.
5. Тетеруков, А. Г. Обоснование требований к уровню боковых лепестков ДН антенны для защиты РЛС от активных шумовых помех / А. Г. Тетеруков // Радиотехника. – 2008. – № 2. – С. 35–44.
6. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. Основы теории математического моделирования боя и боевых действий / В. М. Булойчик. – Минск: ВА РБ, 2005. – 250 с.

*Сведения об авторах:

Комаров Иван Николаевич.

Берикбаев Владимир Мурзатаевич.

Акулич Сергей Вячеславович.

Кононенко Александр Васильевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 03.04.2013 г.

ЛОКАЛЬНО-ОДНОМЕРНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АВИАЦИОННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СТВОЛОВ

УДК 623.418.4

О. А. Конопелько, В. П. Дорошков, А. И. Шипуля*

В статье рассматривается новый подход в решении краевой задачи нестационарной теплопроводности авиационных артиллерийских стволов, повышающий точность определения их температурного состояния в целях дальнейшей аналитической оценки их остаточного ресурса.

The paper deals with a new approach to solving the boundary value problem of unsteady heat conduction aircraft artillery pieces, increasing the accuracy of their temperature condition for further analytical evaluation of their remaining life.

Живучесть (ресурс) стволов авиационного артиллерийского оружия определяется количеством произведенных выстрелов (настрелом), вызывающих такой износ поверхности канала ствола, в результате которого снижение боевых свойств оружия (падение начальной скорости снарядов и увеличение их рассеивания) выходит за пределы установленных норм [1].

В настоящее время актуальной становится дифференцированная оценка живучести авиационных артиллерийских стволов, которая позволит оценивать остаток их ресурса не только по настрелу, но и с учетом режимов стрельбы, определяющихся длиной непрерывной очереди и темпом стрельбы для заданного калибра оружия [2].

Режим стрельбы определяет температуру ствола, которая является решающим фактором в процессе его термопластического износа [1]. Поэтому аналитическая оценка остаточного ресурса авиационных артиллерийских стволов непосредственно связана с необходимостью расчета их температурного состояния.

В настоящее время существует ряд методик определения температурного состояния артиллерийских стволов, в основе которых лежит решение одномерного уравнения теплопроводности Фурье известными аналитическими или численными методами [3]. При этом продольными перетоками тепла пренебрегают, что приводит к ошибкам в расчетах. Для стволов авиационного артиллерийского оружия, характеризующегося высоким темпом стрельбы и длинными очередями, время импульсного теплового воздействия на поверхность канала возрастает. При этом вследствие неравномерной толщины стенки ствола в различных сечениях и неравномерности тепловых потоков вдоль стенки ствола могут возникать значительные перетоки тепла по длине ствола. В связи с этим для определения температурного состояния авиационного артиллерийского ствола необходимо рассматривать двумерную задачу теплопроводности.

Точность определения температурного поля ствола обусловлена учетом влияния гильзы, находящейся во время выстрела в патроннике. Кроме того, на температуру ствола в районе патронника значительное влияние оказывают примыкающие к казенному срезу агрегаты пушки, являющиеся сосредоточенной теплоемкостью. Существующие методики расчета температурного состояния ствола не учитывают перечисленные выше факторы, что негативно отражается на точности решения данной задачи. Наконец, важным фактором в решении рассматриваемой задачи является учет динамики движения снаряда по каналу. Известно, что при движении снаряда происходит увеличение относительной поверхности канала ствола, подверженной действию пороховых газов, и уменьшение относительной поверхности канала, подверженной действию окружающего воздуха. Именно это обстоятельство диктует необходимость учета изменения действия граничных условий на поверхности канала ствола при решении данной задачи.

В общем случае при решении задач теплопроводности используют дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье, описывающее распределение температур в твердом те-

ле. В цилиндрической системе координат, связанной с телом, такое уравнение имеет вид (рисунки 1):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где T – температура ствола;
 τ – текущее время;
 r – радиус вектор;
 a – коэффициент температуропроводности материала ствола;
 θ – полярный угол.

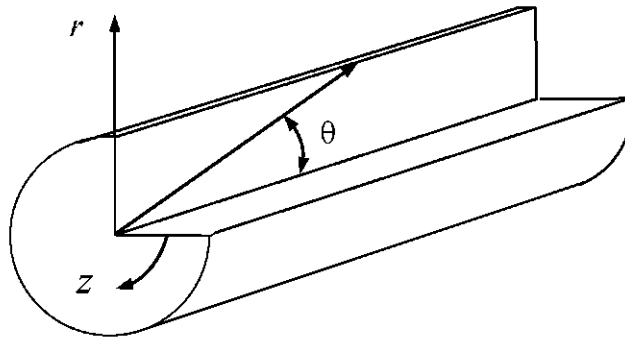


Рисунок 1

Принимая во внимание, что ствол является осесимметричным и градиенты температур в направлении z отсутствуют, вполне достаточно ограничиться рассмотрением двумерной задачи по определению его температурного состояния в одной из радиальных плоскостей. При этом уравнение (1) примет вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \right). \quad (2)$$

Известно, что точное аналитическое решение задачи нестационарной теплопроводности возможно для тел простых форм и при несложных граничных условиях. В сложных задачах, к которым относится рассматриваемая, точное решение можно получить лишь численными методами, суть которых сводится к решению конечно-разностных аппроксимаций дифференциального уравнения теплопроводности и граничных условий. Если при этом конечно-разностные аналоги составляются в неявной форме, то вычислительная схема обладает абсолютной устойчивостью и время решения задачи может быть существенно уменьшено [4].

Для решения системы неявных конечно-разностных аналогов одномерного дифференциального уравнения теплопроводности широко распространенным является метод прогонки [4]. При решении двумерной задачи система уравнений, полученная такой аппроксимацией, непосредственно методом прогонки решена быть не может. В этом случае достаточно эффективными оказываются методы расщепления, в частности, локально-одномерный, который заключается в том, что двумерную краевую задачу математической физики сводят к последовательному решению двух одномерных. При решении двумерной задачи по определению температурного состояния ствола локально-одномерный метод позволяет в два этапа вычислить температуру T в фиксированной точке ствола на временном интервале $\Delta \tau$ путем последовательного решения на этом интервале двух одномерных задач.

Шаг по времени $\Delta\tau$ при этом на каждом этапе делится пополам, и каждую из указанных задач можно решать методом прогонки.

Исходя из вышесказанного, заменим уравнение (2) двумя одномерными дифференциальными уравнениями, одно из которых запишем в цилиндрических координатах, другое – в прямоугольных декартовых. В результате получим систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \tau_1} &= a \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \\ \frac{\partial T_2}{\partial \tau_2} &= a \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где x – координата по длине ствола.

Из системы уравнений (3) видно, что направление радиуса-вектора r не зависит от величины полярного угла θ , подобно уравнению (2), и принимается постоянным значением. Для численного решения данной краевой задачи теплопроводности можно применить метод конечных разностей (сеточный метод), сущность которого заключается в том, что область непрерывного изменения аргументов заменяется расчетной сеткой – дискретным множеством точек (узлов). Вместо функций непрерывных аргументов вводятся функции дискретных аргументов, определяемые в узлах расчетной сетки. Частные производные, входящие в систему дифференциальных уравнений (3), заменяются (аппроксимируются) разностными соотношениями. В результате такой замены краевая задача в частных производных сводится к системе разностных алгебраических уравнений (разностной схеме). Заменим область непрерывного изменения аргументов искомой функции T некоторым множеством точек, лежащих в этой области. В данном случае область представляет собой продольное сечение ствола для фиксированного момента времени τ (рисунок 2).

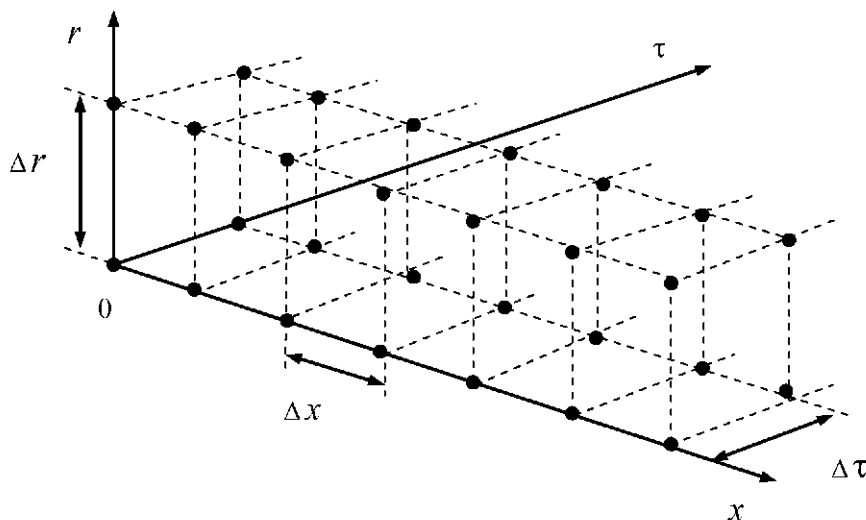


Рисунок 2

Конечно-разностный аналог системы уравнений (3) при неявной форме его представления после соответствующих преобразований имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} T'_{k,j,j-0,5} &= -\left(\frac{0,5\lambda\Delta\tau_1}{C\rho\Delta r^2}\right)T'_{k,i-1,j} + \left(\frac{\lambda\Delta\tau_1}{C\rho\Delta r^2} - \frac{0,5\lambda\Delta\tau_1}{C\rho R_0\Delta r + \Delta r^2 m_i} + 1\right)T'_{k,i,j} - \left(\frac{0,5\lambda\Delta\tau_1}{C\rho\Delta r^2} - \frac{0,5\lambda\Delta\tau_1}{C\rho R_0\Delta r + \Delta r^2 m_i}\right)T'_{k,i+1,j}; \\ T'_{k,i,j-0,5} &= -\left(\frac{0,5\lambda\Delta\tau_2}{C\rho\Delta x^2}\right)T'_{k,i,j} + \left(1 + \frac{\lambda\Delta\tau_2}{C\rho\Delta x^2}\right)T'_{k,i,j} - \left(\frac{0,5\lambda\Delta\tau_2}{C\rho\Delta x^2}\right)T'_{k-1,i,j}, \end{aligned} \right\} (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала ствола;

C – удельная теплоемкость материала ствола;

ρ – плотность материала ствола;

R_0 – расстояние от продольной оси канала ствола до его внутренней поверхности;

m_i – порядковый номер шага Δr ;

k, i, j – порядковый номер узла в направлении осей $x, r,$ и τ соответственно.

Первое уравнение системы (4) определяет температуру в расчетных узлах сеточной области на временном интервале $\Delta\tau_1 = 0,5\Delta\tau$ только в радиальном направлении ствола с шагом Δr . Второе уравнение определяет температуру в этих же точках на временном интервале $\Delta\tau_2 = \Delta\tau_1$ в продольном направлении ствола с шагом Δx , где $\Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 = \Delta\tau$.

Для более наглядного представления системы (4) обозначим выражения в скобках через коэффициенты. Тогда окончательно получим систему алгебраических уравнений, описывающих распределение температуры в стенке ствола при соответствующих начальных и граничных условиях:

$$\left. \begin{aligned} T'_{k,i,j-0,5} &= -A_i T'_{k,i-1,j} + C_i T'_{k,i,j} - B_i T'_{k,i+1,j}; \\ T'_{k,i,j-0,5} &= -A_k T'_{k-1,i,j} + C_k T'_{k,i,j} - B_k T'_{k+1,i,j}. \end{aligned} \right\} (5)$$

Для оценки достоверности системы уравнений (5) решена модельная задача по определению температурного поля металлического цилиндра с заданными размерами и свойствами материала, предварительно нагретого в печи, результат которой сравнивался с заранее известным точным аналитическим решением [5]. Поскольку цилиндр является осесимметричным, то рассматривалось только продольное его сечение. Первое уравнение системы (5) при этом использовалось для определения температуры цилиндра в радиальном направлении r , а второе уравнение – в продольном направлении x . Задача решалась при помощи рекуррентных соотношений метода правой прогонки по неявной разностной схеме и по шеститочечному сеточному шаблону. При этом шаги по координатам Δr и Δx составляли 0,5 % от соответствующих линейных размеров цилиндра, а шаг по времени – 1 с. Результаты моделирования показали, что численное решение соизмеримо с точным аналитическим решением и имеет усредненную погрешность 8,5 % (рисунок 3).

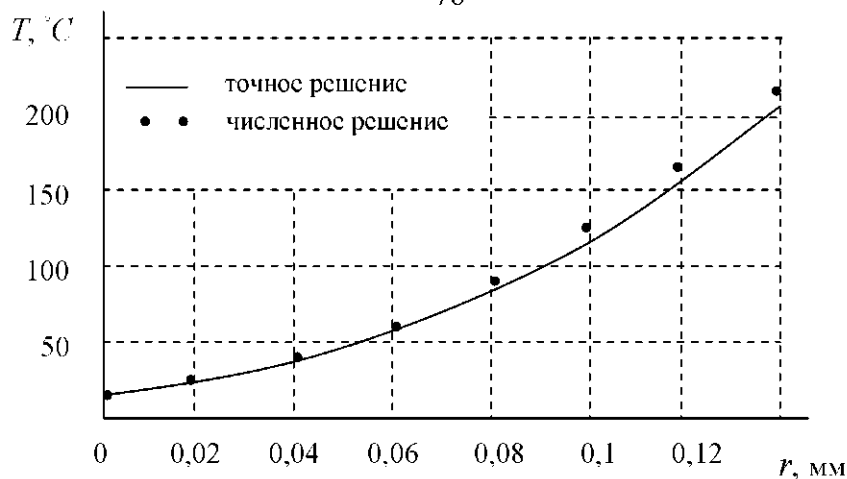


Рисунок 3

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что система уравнений (5) достаточно точно описывает распределение температуры в цилиндрическом твердом теле. Следовательно, она может быть использована для решения двумерной задачи теплопроводности по определению температурных полей артиллерийских стволов в целях дальнейшей разработки математической модели их термопластического износа в процессе боевого применения с учетом различных режимов стрельбы. Это, в свою очередь, позволит дифференцированно оценивать их остаточный ресурс. Также достоинством предлагаемого решения задачи теплопроводности является то, что оно позволяет реализовать прямоугольный вид расчетной сетки, что упрощает алгоритм ее решения при последующем формировании сложных граничных условий на всех поверхностях ствола. Кроме того, данное решение предусматривает применение неявной формы конечно-разностного аналога дифференциальных уравнений, которая обеспечивает абсолютную устойчивость разностной схемы при любом значении временного шага.

Список литературы

1. Конопелько, О. А. К вопросу об оценке живучести авиационных артиллерийских стволов / О. А. Конопелько, А. В. Рожок, А. И. Антонов // Сб. науч. тр. докторантов, адъюнктов и соискателей. – 2008. – № 17.
2. Конопелько, О. А. Обоснование возможности аналитической оценки живучести артиллерийских стволов / О. А. Конопелько, В. П. Дорошков, А. И. Шипуля // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 20.
3. Шипунов, А. Г. Живучесть стволов скорострельных пушек и способы ее обеспечения / А. Г. Шипунов, Ю. С. Швыкин. – М.: Машиностроение, 1977.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1989.
5. Крэйт, Ф. Основы теплопередачи: пер. с англ. / Ф. Крэйт, У. Блэк. – М.: Мир, 1983.

Сведения об авторах:

Конопелько Олег Александрович,
 Дорошков Владимир Павлович,
 Шипуля Александр Иванович,
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 08.01.2013 г.

ИДЕНТИФИКАТОР НАЛИЧИЯ ЦЕЛИ

УДК 621.396.519

В. А. Куренёв, С. В. Аникеев*

В статье рассмотрен принцип идентификации состояния системы и его влияние на точность фильтрации. Подчеркивается роль идентификатора в системах оценивания состояния. Приведен пример, демонстрирующий его необходимость. Краткая информация приводится об адаптивной нелинейной фильтрации в условиях априорной неопределенности относительно наличия цели. Идентификатор работает на основе наблюдений состояния воздушной обстановки.

This article deals with the approach of the system state identification and its impact on filtration accuracy. The role of the identifier in the system of state estimation is underlined. The example is given to demonstrate its necessity. The short information is given about adoptive nonlinear filtering with uncertainty relatively target presents. The identification is performed on the base of environment state observation.

Существует несколько подходов к синтезу алгоритмов адаптивной фильтрации координат целей. В теории систем со случайной структурой [1] получение алгоритмов фильтрации требует априорных данных о статистике переходов воздушной обстановки из состояния в состояние, что приводит к громоздким структурам и затрудняет анализ синтезированных систем. Одним из возможных путей построения достаточно простых и эффективных алгоритмов фильтрации являются алгоритмы, положенные в основу построения многофункциональных систем совместного обнаружения и фильтрации [2, 3]. Однако данные системы, обладая простотой, работают в ключевом режиме, который обеспечивает выдачу текущих оценок фильтруемых параметров потребителям этой информации лишь после принятия решения о наличии полезного сигнала в принимаемой смеси. До принятия такого решения последние используют имеющиеся априорные данные.

В настоящее время активно развиваются методы синтеза многофункциональных систем, основанные на применении адаптивного байесовского подхода [3]. В основу этого подхода положен принцип определения вероятностей совмещения решений и условий на основании условных вероятностей решений и априорных вероятностей условий.

Кратко рассмотрим методику синтеза алгоритма адаптивной фильтрации координат цели при наличии априорной неопределенности относительно наличия полезного сигнала в принятом колебании для модели наблюдения [4], заданной уравнением

$$y(t) = \Theta s(x, t) + n(t), \quad (1)$$

где Θ – параметр, представляющий собой дискретную случайную величину и характеризующий ситуации наличия ($\Theta = 1$) и отсутствия ($\Theta = 0$) сигнала;

$s(x, t)$ – сигнал цели, несущий полезную информацию об ее текущих координатах и параметрах движения $x(t)$;

$n(t)$ – шум наблюдения.

В рамках адаптивного байесовского подхода проведем статистический синтез оптимального измерителя, осуществляющего измерение компонент вектора $x(t)$ с минимальными среднеквадратическими ошибками в условиях параметрической неопределенности относительно Θ . Практически это означает, что наряду с оценкой компонент вектора $x(t)$ оптимальный измеритель должен оценивать параметр Θ и в соответствии с его апостериорным значением «доверять» оценкам компонент вектора $x(t)$, если заданы априорные вероятности

$$P_v = P(\Theta = v), \quad v = 0, 1.$$

При $v = 0$ имеем априорную вероятность отсутствия сигнала, а при $v = 1$ – априорную вероятность его наличия. Очевидно, что для этих вероятностей ввиду несовместимости событий $\Theta = 0$ и $\Theta = 1$ должно выполняться условие нормировки

$$P_0 + P_1 = 1.$$

Состояние $\Theta = 0$ в дальнейшем будем ассоциировать с $x(t) = x^{(0)}(t)$ и $s(x^{(0)}, t) = 0$, а состояние $\Theta = 1$ – с $x(t) = x^{(1)}(t)$ и $s(x^{(1)}, t)$.

В этих условиях задача адаптивной фильтрации компонент вектора $x(t)$ может быть сформулирована как задача получения с минимальными среднеквадратическими ошибками текущих оценок $\hat{x}^{(0)}(t)$, $\hat{x}^{(1)}(t)$ и апостериорных вероятностей состояний $P_0(t)$, $P_1(t)$ с последующим формированием результирующей оценки в виде взвешенной суммы

$$\hat{x}(t) = P_0(t)\hat{x}^{(0)}(t) + P_1(t)\hat{x}^{(1)}(t).$$

Перейдем от непрерывной модели наблюдений (1) к дискретной. Предположим, что принимаемый сигнал $y(t)$ наблюдается в моменты времени t_i , разделенные малыми одинаковыми промежутками $\Delta t = t_{i+1} - t_i$. Тогда возможные ситуации принимают вид

$$y_i(t) = \Theta s_i(x_i) + n_i, \quad \Theta = 0, 1 \quad i = 1, 2, \dots,$$

где $s_i(x_i) = s_i(x_i, t_i)$ и $n_i = n(t_i)$ – дискретные отсчеты полезного сигнала и шума наблюдения;

$x_i = x(t_i)$ – случайные величины, образующие простой марковский процесс с дискретным временем и непрерывным фазовым пространством.

Найдем оптимальную процедуру формирования отношения апостериорных вероятностей состояний и апостериорной плотности вероятности марковского процесса в условиях параметрической априорной неопределенности относительно Θ , для чего рассмотрим случайный вектор $(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_k, \Theta)^T$. Тогда с учетом марковских свойств вектора $(x_1, \dots, x_k)^T$ получим

$$p(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_k, \Theta) = \prod_{i=1}^k p(y_i/x_i, \Theta)n(x_1, \Theta) \prod_{i=2}^k n(x_i/x_{i-1}, \Theta)p(\Theta),$$

где $p(y_i/x_i, \Theta)$ – параметрическая функция правдоподобия марковского процесса;

$n(x_1, \Theta)$ – параметрическая начальная плотность вероятности;

$n(x_i/x_{i-1}, \Theta)$ – параметрическая переходная плотность вероятности,

$p(\Theta)$ – безусловная вероятность.

С другой стороны,

$$p(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_k, \Theta) = p(x_1, \dots, x_k, \Theta/y_1, \dots, y_k)p(y_1, \dots, y_k).$$

Следовательно, смешанное апостериорное распределение $p(x_1, \dots, x_k, \Theta/y_1, \dots, y_k)$ можно представить в виде

$$p(x_1, \dots, x_k, \Theta/y_1, \dots, y_k) = \frac{1}{p(y_1, \dots, y_k)} \prod_{i=1}^k p(y_i/x_i, \Theta)n(x_1, \Theta) \cdot \prod_{i=2}^k n(x_i/x_{i-1}, \Theta)p(\Theta). \quad (2)$$

Для соседнего момента времени $k+1$ по аналогии имеем

$$p(x_1, \dots, x_{k+1}, \Theta/y_1, \dots, y_{k+1}) = \frac{1}{p(y_1, \dots, y_{k+1})} \prod_{i=1}^{k+1} p(y_i/x_i, \Theta)n(x_1, \Theta) \cdot \prod_{i=2}^{k+1} n(x_i/x_{i-1}, \Theta)p(\Theta). \quad (3)$$

Из сравнения (2) и (3) получаем связь апостериорных смешанных распределений в моменты времени $k+1$ и k и приходим к финальным апостериорным вероятностям, характеризующим апостериорное распределение марковского процесса на последнем шаге при наличии наблюдений на предыдущих

$$p(x_{k+1}, \Theta/y_1, \dots, y_{k+1}) = \frac{1}{p(y_{k+1}/y_1, \dots, y_k)} \int p(x_k, \Theta/y_1, \dots, y_k)p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta) n(x_{k+1}/x_k, \Theta) dx_k. \quad (4)$$

В соответствии с (4) для вычисления смешанного апостериорного распределения на $(k+1)$ -м шаге необходимо знать соответствующее ему распределение на предыдущем шаге,

параметрическую переходную плотность вероятности $n(x_{k+1}/x_k, \Theta)$ и параметрическую функцию правдоподобия $p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta)$.

Введя апостериорную плотность вероятности состояния $p(\Theta/y_1, \dots, y_k)$ и ассоциируя состояние $\Theta = 0$ с $x_{k+1} = x_{k+1}^{(0)}$ и $s(x_{k+1}) = 0$, вместо (4) можно получить выражения для апостериорных вероятностей состояний. Введем их отношение

$$l_k = \frac{P(\Theta = 1/y_1, \dots, y_k)}{P(\Theta = 0/y_1, \dots, y_k)}.$$

Учитывая теперь условие нормировки

$$P(\Theta = 1/y_1, \dots, y_k) + P(\Theta = 0/y_1, \dots, y_k) = 1$$

и заменив

$$P(\Theta = 1/y_1, \dots, y_k) = \frac{l_k}{1 + l_k}, \quad P(\Theta = 0/y_1, \dots, y_k) = \frac{1}{1 + l_k},$$

получаем отношение апостериорных вероятностей на $(k+1)$ -м шаге:

$$l_{k+1} = \frac{l_k}{p(y_{k+1})} \iint p(x_k/\Theta = 1, y_1, \dots, y_k) p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1) n(x_{k+1}/x_k, \Theta = 1) dx_k dx_{k+1}. \quad (5)$$

В результате для состояний $\Theta = 0$ и $\Theta = 1$ имеем рекуррентные выражения для апостериорных плотностей вероятностей

$$p(x_{k+1}/\Theta = 0, y_1, \dots, y_{k+1}) = \int p(x_k/\Theta = 0, y_1, \dots, y_k) n(x_{k+1}/x_k, \Theta = 0) dx_k, \quad (6)$$

$$p(x_{k+1}/\Theta = 1, y_1, \dots, y_{k+1}) = \frac{\int p(x_k/\Theta = 1, y_1, \dots, y_k) p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1) n(x_{k+1}/x_k, \Theta = 1) dx_k}{\iint p(x_k/\Theta = 1, y_1, \dots, y_k) p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1) n(x_{k+1}/x_k, \Theta = 1) dx_k dx_{k+1}}. \quad (7)$$

Полученные рекуррентные выражения (6), (7) и (5) описывают алгоритмы поэтапного нахождения апостериорных плотностей вероятностей $p(x_{k+1}/\Theta = 0, y_1, \dots, y_{k+1})$, $p(x_{k+1}/\Theta = 1, y_1, \dots, y_{k+1})$ и отношения апостериорных вероятностей состояний l_{k+1} .

Выражения (6) и (7) представляют собой основу для синтеза алгоритмов экстраполяции и оптимальной нелинейной фильтрации, а выражение (5) – алгоритмов оценки апостериорных вероятностей состояний.

Для получения дифференциального уравнения для отношения апостериорных вероятностей состояний, а затем и самих апостериорных вероятностей необходимо представить функцию правдоподобия $p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1)$ и плотность $p(y_{k+1})$, входящие в (5), в следующем виде [5]:

$$p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1) = \exp\{F_{k+1}(y_{k+1}, x_{k+1}, \Theta = 1)\}, \\ p(y_{k+1}) = \exp\{F_{k+1}(y_{k+1})\}.$$

Тогда для их отношения при малых Δt справедливо представление

$$\frac{p(y_{k+1}/x_{k+1}, \Theta = 1)}{p(y_{k+1})} \approx 1 + \frac{\Delta F_{k+1}(y_{k+1}, x_{k+1})}{\Delta t} \Delta t,$$

где $\Delta F_{k+1}(y_{k+1}, x_{k+1}) = F_{k+1}(y_{k+1}, x_{k+1}, \Theta = 1) - F_{k+1}(y_{k+1})$ – логарифм отношения правдоподобия на $(k+1)$ -м шаге.

Используя теперь условие нормировки и учитывая, что в пределе при $\Delta t \rightarrow 0$ выражение $\Delta F_{k+1}(y_{k+1}, x_{k+1})/\Delta t$ переходит в $\Delta F(y, x^{(1)}, t)$ – подынтегральное выражение логарифма отношения правдоподобия, имеем дифференциальное уравнение для отношения апостериорных вероятностей состояний [3]:

$$\dot{l}(t) = l(t) \Delta \widehat{F}(y, x^{(1)}, t), \quad (8)$$

где $\Delta \widehat{F}(y, x^{(1)}, t)$ – оценочное значение подынтегрального выражения логарифма отношения правдоподобия.

В случае высокой апостериорной точности и ограничиваясь линейным приближением разложения $\Delta\hat{F}(y, x^{(1)}, t)$ в окрестности точки $x^{(1)}$, вместо (8) имеем

$$\dot{I}(t) = I(t)\Delta F'(y, \bar{x}^{(1)}, t), \quad (9)$$

где $\Delta F(y, \bar{x}^{(1)}, t)$ – подынтегральное выражение логарифма отношения правдоподобия в точке оценки.

Заметим, что в результате предельного перехода l_k в $I(t)$ апостериорные вероятности $P(\Theta = 1/y_1, \dots, y_k)$, $P(\Theta = 0/y_1, \dots, y_k)$ переходят в $\hat{P}_1(t) = P_1(t)$ и $\hat{P}_0(t) = P_0(t)$. Получим для них дифференциальные уравнения, используя замену переменных

$$L(t) = \ln I(t).$$

Дифференцируя обе части этого равенства по времени и подставляя получающееся в результате выражение

$$\dot{I}(t) = \dot{L}(t)I(t)$$

в (9), находим дифференциальное уравнение для логарифма отношения апостериорных вероятностей состояний

$$\dot{L}(t) = \Delta F(y, \bar{x}^{(1)}, t). \quad (10)$$

Учтем теперь, что

$$L(t) = \ln I(t) = \ln \frac{P_1(t)}{P_0(t)},$$

т. е.

$$\dot{L}(t) = \frac{\dot{P}_1(t)}{P_1(t)} - \frac{\dot{P}_0(t)}{P_0(t)}.$$

Тогда вместо (10) имеем дифференциальное уравнение с двумя неизвестными

$$\frac{\dot{P}_1(t)}{P_1(t)} - \frac{\dot{P}_0(t)}{P_0(t)} = \Delta F'(y, \bar{x}^{(1)}, t), \quad (11)$$

которые удовлетворяют условию нормировки

$$P_1(t) + P_0(t) = 1. \quad (12)$$

Дифференцируя (12) по времени и подставляя $\dot{P}_1(t) = -\dot{P}_0(t)$ в (11), с учетом условия нормировки (12) получаем дифференциальное уравнение для $P_0(t)$:

$$\dot{P}_0(t) = -P_0(t)P_1(t)\Delta F(y, \bar{x}^{(1)}, t). \quad (13)$$

Исключая аналогичным образом из (11) $\dot{P}_0(t)$ и снова учитывая условие нормировки (12), приходим к дифференциальному уравнению для $P_1(t)$:

$$\dot{P}_1(t) = P_0(t)P_1(t)\Delta F(y, \bar{x}^{(1)}, t). \quad (14)$$

Таким образом, апостериорные вероятности состояний отсутствия и наличия сигнала в наблюдаемой смеси $y(t)$ удовлетворяют системе дифференциальных уравнений (13), (14). Схема оптимального идентификатора состояний воздушной обстановки, реализованного в виде алгоритма (13), (14), представлена на рисунке 1. Он состоит из блока формирования подынтегрального выражения логарифма отношения правдоподобия ЛП (10), блока формирования весовых сумм (БФВС) и интеграторов.

Уравнения (13) и (14) являются уравнениями идентификации состояния воздушной обстановки.

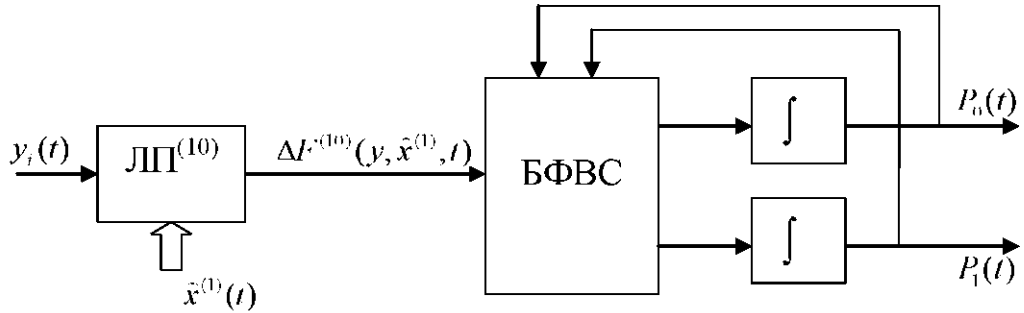


Рисунок 1 – Схема идентификатора состояний

Результирующая оценка получается весовым суммированием априорных и апостериорных оценок, умноженных на апостериорные вероятности состояний:

$$\bar{x}(t) = P_0(t)\bar{x}^{(0)}(t) + P_1(t)\bar{x}^{(1)}(t). \quad (15)$$

Измеритель представляет собой двухканальную (по числу возможных состояний) систему, формирующую оценки $\bar{x}^{(0)}(t)$ и $\bar{x}^{(1)}(t)$. Схема многоканального измерителя, реализованного в виде (15), показана на рисунке 2. Выходы измерителей фиксированной структуры комплексируются с помощью идентификатора, обеспечивающего весовое суммирование оценок $\bar{x}^{(0)}(t)$ и $\bar{x}^{(1)}(t)$ с учетом апостериорных вероятностей состояний $P_0(t)$ и $P_1(t)$.

Идентификатор на основе наблюдений $y(t)$ и оценочных значений компонент вектора $x^{(1)}(t)$ формирует на своем выходе подынтегральное выражение логарифма отношения правдоподобия $\Delta F(y, \bar{x}^{(1)}(t))$ для состояния $\Theta = 1$ и обеспечивает вычисление апостериорных вероятностей состояний $P_0(t)$ и $P_1(t)$.

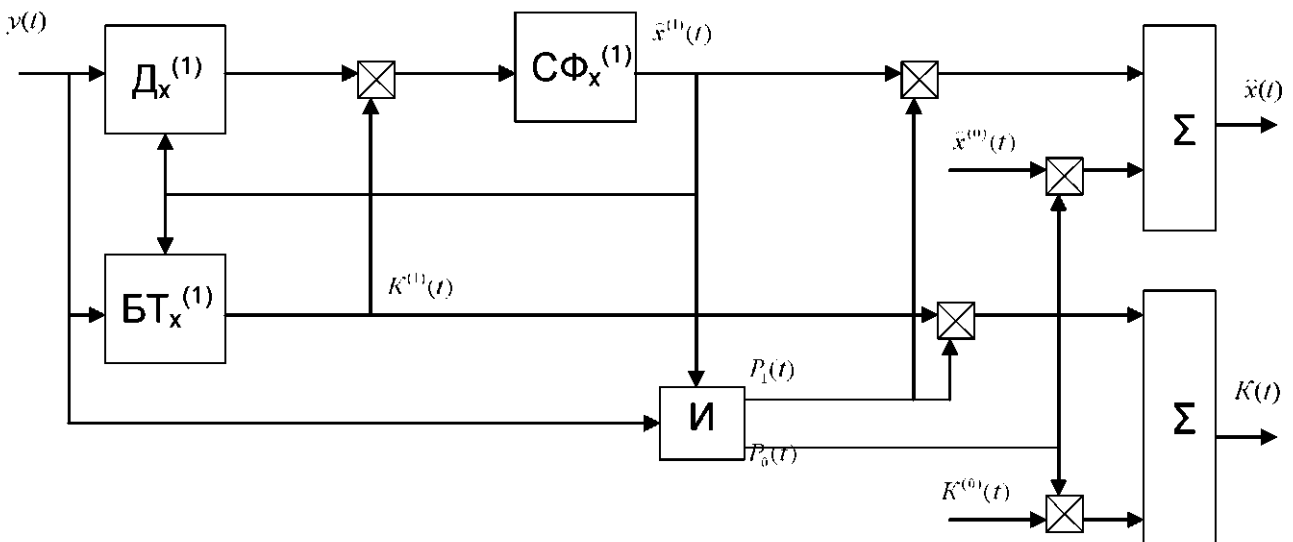


Рисунок 2 – Схема адаптивного измерителя

В процессе работы измерителя при наличии полезного сигнала цели происходит изменение апостериорных вероятностей состояний (максимизация $P_1(t)$ и минимизация

$P_0(t)$), а точность фильтрации компонент вектора $x(t)$ в установившемся режиме полностью определяется точностью работы канала фильтрации $x^{(1)}(t)$. Таким образом, использование идентификатора наличия цели позволяет реализовать алгоритм совместного обнаружения и оценивания в многофункциональных системах.

Список литературы

1. Артемьев, В. М. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры / В. М. Артемьев. – Минск: Вышэйш. шк., 1979.
2. Репин, В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Тартаковский. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.
3. Сосулин, Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов / Ю. Г. Сосулин. – М.: Сов. радио, 1978. – 320 с.
4. Казаков, И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой / И. Е. Казаков. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
5. Вопросы статистической теории радиолокации / П. А. Бакут [и др.]; под ред. Г. П. Тартаковского. – М.: Сов. радио, 1964. – Т. 2.

*Сведения об авторах:

Курнёв Вячеслав Александрович,

Аниксев Сергей Валерьевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 10.12.2012 г.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПРИ СОГЛАСОВАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДИСКРЕТНОГО КОНЕЧНОМЕРНОГО СИГНАЛА В ЦИФРОВОМ ПРИЕМНИКЕ

УДК 621.37

О. Г. Лапука*

В статье рассматриваются вопросы анализа отношения сигнал-шум при цифровой обработке сигнала в радиолокационном приемнике. С использованием дискретного конечномерного представления получены энергетические соотношения, характерные для согласованной фильтрации принимаемых сигналов при произвольной частоте дискретизации.

The article deals with the analysis of the signal-to-noise ratio in digital signal processing in the radar receiver. With the use of a discrete finite-dimensional representation obtained energy relations characteristic of matched filtering of the received signals at any sample rate.

Цифровая обработка сигналов в современных радиотехнических системах неизбежно приводит к необходимости перехода от непрерывного представления вида $s(t)$ к конечной последовательности цифровых отсчетов – дискретному конечномерному сигналу (ДКС). Адекватное математическое описание ДКС – представление его в виде одномерного линейно-алгебраического объекта – вектора. Значения элементов вектора ДКС соответствуют значению $s(t)$ в дискретные моменты времени, следующие с фиксированным периодом, а количество элементов N зависит от длительности исходного сигнала T_s и периода дискретизации T_d : $N = T_s/T_d$.

Такое представление сигналов позволяет избежать различного рода ограничений на их вид: форму, параметры, ширину спектра – и применять для анализа хорошо разработанный аппарат линейной алгебры. Однако переход от физической категории – времени – к безразмерным отсчетам, количество которых для одного и того же исходного сигнала $s(t)$ может быть различным (при различной частоте дискретизации), не позволяет напрямую применять традиционные методы анализа для расчета энергетических соотношений в устройствах цифровой обработки сигналов.

Для иллюстрации рассмотрим конкретную задачу. Пусть радиолокатор с цифровым приемником может использовать два типа зондирующих сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), имеющих одинаковую внутриимпульсную девиацию (для определенности равную $\Delta F = 5$ МГц), но различную длительность импульсов: $\tau_1 = 10$ мкс; $\tau_2 = 100$ мкс. Очевидно, что разрешающая способность радиолокатора по дальности при использовании этих сигналов после их сжатия в устройстве когерентного накопления будет одинаковой: $c\Delta F/2 = 30$ м, а ближняя граница зоны радиолокационного наблюдения составит $c\tau_1/2 = 1,5$ км и $c\tau_2/2 = 15$ км соответственно. Требуется определить, как изменится отношение сигнал-шум на выходе цифрового приемника при использовании каждого из этих сигналов (разумеется, при одинаковом в обоих случаях уровне эквивалентной площади отражения цели), будет ли оно зависеть от частоты дискретизации, а также каким будет выигрыш в отношении сигнал-шум на выходе устройства обработки по сравнению с его входом.

Рассмотрим упрощенную схему цифрового приемника (рисунок 1), состоящую из усилителя промежуточной частоты (УПЧ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и согласованного фильтра (СФ). Такая схема может использоваться для оптимального приема сигнала с известной начальной фазой.

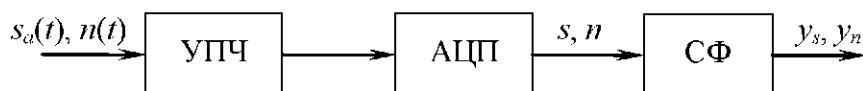


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема цифрового приемника для анализа энергетических соотношений

Найдем отношение сигнал-шум на выходе цифрового приемника при поступлении на его вход аддитивной смеси $u(t)$ полезного сигнала $s_a(t)$ конечной длительности на фоне белого шума $n(t)$: $u(t) = s_a(t) + n(t)$.

Для определенности примем, что поступающее через УПЧ на вход АЦП аналоговое напряжение имеет вид

$$s_a(t) = u_0 \sin(\varphi + \omega t),$$

то есть сигнал представляет собой синусоиду с постоянной амплитудой u_0 и произвольной полной фазой φ .

Очевидно, что мгновенная мощность непрерывного сигнала $s_a(t)$, выделяемая на сопротивлении R , равна $P_s(t) = \frac{s_a^2(t)}{R} = \frac{u_0^2 \sin^2(\varphi + \omega t)}{R}$, а энергия сигнала за длительность T_s описывается формулой $\mathcal{E}_a = \frac{1}{R} \int_0^{T_s} s_a^2(t) dt$. Понятно, что средняя (за длительность) мощность сигнала равна $\overline{P}_s = \frac{\mathcal{E}_a}{T_s}$.

Известно, что для широкого круга гармонических аналоговых сигналов с различными фазовыми аргументами (линейного $\varphi(t) = \omega t$, квадратичного и, вообще, любого полиномиального аргумента времени) справедливо соотношение [1]:

$$\int_0^{T_s} \sin^2(\varphi + \omega t) dt = \frac{T_s}{2} + \delta, \text{ где } |\delta| \ll \frac{T_s}{2}. \quad (1)$$

Физически это означает, что энергия гармонического сигнала при его произвольной фазовой модуляции практически не зависит от ее вида. В наиболее простом случае, если $s_a(t) = u_0 \sin(\omega t)$, то

$$\mathcal{E}_a = \frac{1}{R} \int_0^{T_s} u_0^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{u_0^2}{R} \left(\frac{T_s}{2} - \frac{\sin \omega T_s}{4\omega} \right). \quad (2)$$

При больших значениях ω , характерных для радиосигналов, второе осциллирующее слагаемое в скобках выражения (2) является достаточно малым. Пренебрегая им, можно считать, что энергия сигнала

$$\mathcal{E}_a \approx \frac{u_0^2 T_s}{2R},$$

а его средняя (за длительность сигнала) мощность равна

$$\overline{P}_s = \frac{\mathcal{E}_a}{T_s} \approx \frac{u_0^2}{2R}.$$

В АЦП сигнал $s_a(t)$ дискретизируется по времени с частотой F_d (период дискретизации $T_d = 1/F_d$). Полученный дискретный конечномерный сигнал будет содержать $N = \frac{T_s}{T_d}$ отсчетов, каждый из которых равен $s_k = u_0 g_k = u_0 \sin(\varphi + k T_d \omega)$; $k = \overline{1, N}$. Эти отсчеты могут быть объединены в вектор-столбец $s = [s_k] = u_0 [g_k] = u_0 g$; $k = \overline{1, N}$. При этом энергия дискретного конечномерного сигнала равна

$$\mathcal{E}_s = \frac{u_0^2}{R} \|g\|^2 T_d = \frac{u_0^2}{R} \frac{\|g\|^2}{F_d}. \quad (3)$$

Здесь и далее символ $\|\cdot\|^2$ обозначает квадрат нормы вектора (сумму квадратов его элементов).

По аналогии с выражением (1) можно показать, что для любых гармонических дискретных конечномерных сигналов g с единичной амплитудой и произвольным фазовым заполнением, полученных из аналогового прототипа путем аналого-цифрового преобразования с соблюдением условия $F_d > 2 \max \left\{ \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} \right\}$ (т. е. без отсечки информативной части спектра исходного сигнала частотой Найквиста), квадрат нормы вектора может быть найден из выражения

$$\|g\|^2 = \frac{N}{2} + \varepsilon,$$

где N – количество отсчетов ДКС, а ε – величина большего порядка малости: $|\varepsilon| \ll \frac{N}{2}$. Так,

для дискретной синусоиды $g = \sin kT_d$, $k = \overline{1, N}$ [1]:

$$\|g\|^2 = \sum_{k=1}^N \sin^2 kT_d = N - \frac{\cos(N+1)T_d \sin(NT_d)}{2\sin T_d} \approx \frac{N}{2}, \quad (4)$$

так как $\frac{\cos(N+1)T_d \sin(NT_d)}{2\sin T_d} \approx \frac{N}{2}$ при достаточно малом T_d .

В этом случае энергия ДКС, выделяемая на сопротивлении 1 Ом, равна

$$\mathcal{E}_s = \frac{u_0^2}{R} \|g\|^2 T_d \approx \frac{u_0^2}{R} \frac{N}{2} T_d = \frac{u_0^2}{2R} \frac{T_s T_d}{T_d} = \frac{u_0^2}{2R} T_s = \overline{P}_s T_s = \mathcal{E}_a.$$

Итак, математически доказано, что энергии аналогового сигнала длительностью T_s и сформированного из него ДКС равны между собой с точностью до относительно малых величин (δ, ε).

Теперь получим энергетические соотношения между полезным сигналом и внутренним шумом, возникающие при когерентном накоплении в цифровом приемнике. Как известно, импульсная характеристика h согласованного фильтра определяется «зеркальным отражением» полезного сигнала s . В векторно-матричной форме это имеет следующий вид [2]:

$$h = Js,$$

где J – кроссдиагональная единичная матрица, размерность которой (количество строк и столбцов) определяется размерностью сигнала.

Чтобы сохранить единицу измерения отклика фильтра той же, что и единица измерения входного сигнала (например, вольт), необходимо, чтобы импульсная характеристика фильтра была безразмерной. Без ограничения общности, кроме того, потребуем, чтобы импульсная характеристика СФ была нормированной: $\|h\|^2 = 1$. Для произвольного полезного сигнала g нормированная безразмерная импульсная характеристика с учетом формулы (4) описывается выражением

$$h = Jg / \|g\| = \sqrt{\frac{2}{N}} Jg. \quad (5)$$

Пусть на вход приемника поступает аналоговый сигнал $s_a(t) = u_0 \sin \varphi(t) = u_0 g(t)$ с мгновенной мощностью $P(t) = \frac{u_0^2 \sin^2 \varphi(t)}{R}$, энергией $\mathcal{E}_a = \frac{u_0^2 T_s}{2R}$ и средней мощностью $\overline{P}_s = \frac{u_0^2}{2R}$. В последующих выкладках примем $R = 1$ Ом, при этом средняя (за длительность)

мощность полезного сигнала будет численно равна $\overline{P}_s = \frac{u_0^2}{2}$.

На выходе АЦП и, соответственно, на входе цифрового согласованного фильтра (ЦСФ) имеем ДКС $s = s_k = u_0 g_k = u_0 g$. Как показано в [2], значение сигнала на выходе ЦСФ в момент времени T_s , то есть в центральной точке отклика, определяется скалярным произведением вектора импульсной характеристики и зеркального отражения входного сигнала

$$y_s|_{t=T_s} = u_0 h^T J g = u_0 \sqrt{\frac{2}{N}} g^T J J g = u_0 \sqrt{\frac{2}{N}} \|g\|^2 = u_0 \sqrt{\frac{N}{2}}.$$

Обратим внимание на то, что размерность выходного сигнала ЦСФ (но только при нормировке импульсной характеристики вида (5)) естественная физическая – вольт. При этом мгновенная (пиковая) мощность выходного сигнала ЦСФ в центральной точке его отклика равна

$$y_s^2|_{t=T_s} = \frac{u_0^2}{2} N = \overline{P_s} N. \quad (6)$$

Следует отметить, что в теории аналоговой согласованной фильтрации вместо нормировки импульсной характеристики СФ для согласования размерностей используется коэффициент пропорциональности – некий постоянный множитель k_0 (например, [3, выражение (4.2.6)]). Наличие такого коэффициента, конечно, не подвергает сомнению корректность полученных результатов, так как на конечное отношение сигнал-шум данный коэффициент не влияет (он присутствует в выражениях и для выходного полезного сигнала, и для выходного шума). Однако только в предлагаемом варианте, использующем дискретное конечномерное представление сигналов и устройств обработки, обеспечивается математически строгая и однозначная интерпретация всех физических величин.

Теперь рассмотрим обработку в ЦСФ внутреннего шума. На выходе АЦП имеем вектор n дискретного конечномерного «белого» шума (ДКБШ) (кавычки здесь использованы для того, чтобы показать, что дискретный шум является белым только в полосе дискретизации). Очевидно, что данный вектор должен иметь дискретную длительность, равную дискретной длительности вектора полезного ДКС s . Будем считать, что отсчеты ДКБШ некоррелированы между собой, т. е. корреляционная матрица является диагональной [2]:

$$\langle n n^T \rangle_n = \langle n_t n_\tau \rangle_n = \sigma_n^2 \delta_\tau^t = \sigma_n^2 I, \quad (7)$$

где σ_n^2 – дисперсия шума (она же, как будет показано ниже, характеризует усредненную по множеству реализаций мгновенную и среднюю (за длительность сигнала) мощность шума); I – единичная матрица; δ_τ^t – символ Кронекера, определяемый выражением

$$\delta_\tau^t = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau = t; \\ 0 & \text{при } \tau \neq t; \end{cases} \quad t, \tau = \overline{1, N}.$$

Энергию шума находим аналогично выражению (3):

$$\mathcal{E}_n = \|n\|^2 T_d = \frac{\|n\|^2}{F_d}.$$

В этом случае математическое ожидание усредненной (по ансамблю реализаций) энергии шума с учетом формулы (7) в индексном представлении примет следующий вид:

$$\langle \mathcal{E}_n \rangle_n = \frac{\langle \|n\|^2 \rangle_n}{F_d} = \frac{1}{F_d} \langle n_t \delta_\tau^t n_\tau \rangle_n = \frac{1}{F_d} \delta_\tau^t \langle n_t n_\tau \rangle_n = \frac{\sigma_n^2}{F_d} \delta_\tau^t \delta_\tau^t.$$

Так как $\delta_\tau^t \delta_\tau^t = N$ (см. [2]), получим

$$\langle \mathcal{E}_n \rangle_n = \frac{\sigma_n^2}{F_d} N = \frac{\sigma_n^2}{F_d} T_s F_d = \sigma_n^2 T_s.$$

Из этого следует, что средняя (за длительность полезного сигнала) мощность ДКБШ на входе приемника равна дисперсии шума:

$$\overline{P}_n = \frac{\langle \mathcal{E}_n \rangle_n}{T_s} = \sigma_n^2. \quad (8)$$

Основным физическим источником шума в радиоприемных устройствах, как известно, является тепловое движение зарядов. Средняя мощность тепловых шумов в соответствии с формулой Найквиста равна [4]:

$$\overline{P}_n = k_b k_m T_{\text{эф}} \Delta f' = G_0 \Delta f',$$

где $k_b \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; k_m – коэффициент шума приемника; $T_{\text{эф}}$ – эффективная абсолютная температура приемного устройства, К; $\Delta f'$ – ширина частотного диапазона измерений (наблюдений), Гц; $G_0 = k_b k_m T_{\text{эф}}$ – спектральная плотность мощности шума, Вт/Гц.

Аналого-цифровой преобразователь для белого шума является фильтром нижних частот. На его выход попадают только спектральные компоненты белого шума, находящиеся в полосе, ширина которой равна частоте дискретизации F_d . Поэтому средняя мощность дискретного шума определяется выражением

$$\overline{P}_n = G_0 F_d. \quad (9)$$

Отметим, что и для непрерывного «белого» шума записать выражение, характеризующее его среднюю мощность на входе устройства когерентного накопления, *невозможно*, если не определена полоса частот, на которой должна быть проинтегрирована спектральная плотность.

При цифровой обработке в приемнике дискретный шум поступает на СФ с импульсной характеристикой (5). Мгновенный отсчет выхода СФ в момент времени T_s (то есть в центральной точке отклика полезного сигнала) будет определяться следующим выражением [2]:

$$y_n|_{t=T_s} = h^T J n = \sqrt{\frac{2}{N}} g^T J n = \sqrt{\frac{2}{N}} g^T n.$$

С учетом этого мгновенная мощность шума на выходе СФ равна

$$y_n^2|_{t=T_s} = \left(\sqrt{\frac{2}{N}} g^T n \right)^2 = \frac{2}{N} g^T n n^T g.$$

Следовательно, усредненное (по ансамблю реализаций) значение мгновенной мощности дискретного конечномерного шума на выходе СФ будет определяться формулой

$$\left\langle y_n^2|_{t=T_s} \right\rangle_n = \frac{2}{N} g^T \left\langle n n^T \right\rangle_n g = \frac{2}{N} \sigma_n^2 \|g\|^2. \quad (10)$$

Подставив (4) в (10), получим:

$$\left\langle y_n^2|_{t=T_s} \right\rangle_n = \sigma_n^2. \quad (11)$$

Физический смысл данной формулы может быть охарактеризован на основе ее сравнения с выражением (8): средняя мощность шума на выходе согласованного фильтра с *нормированной* импульсной характеристикой *не изменяется* по сравнению с уровнем средней мощности шума на входе. В силу принципа суперпозиции это справедливо для любой точки шумового отклика (безотносительно к тому, есть на входе полезный сигнал или нет), но только после окончания первоначальной «зарядки» фильтра входным шумом, то есть через промежуток времени, равный длительности импульсной характеристики, после начала действия шума.

Разделив выражение (6) на (11), получим формулу, характеризующую отношение сигнал-шум по мощности на выходе ЦСФ:

$$q_{\text{вых}}^2 = \frac{y_s^2|_{t=T_s}}{\left\langle y_n^2|_{t=T_s} \right\rangle_n} = \frac{\overline{P_s}N}{\sigma_n^2} = \frac{\overline{P_s}}{\overline{P_n}} N = q_{\text{вх}}^2 N. \quad (12)$$

Итак, выигрыш в отношении сигнал-шум на выходе согласованного фильтра по сравнению с его входом определяется *исключительно* дискретной длительностью N входного ДКС и не зависит от параметров полезного сигнала, в том числе его длительности и ширины спектра. Отсюда следует неочевидное: увеличивая частоту дискретизации, можно добиться увеличения выигрыша в отношении сигнал-шум на выходе устройства когерентного накопления по сравнению с его входом.

Численная иллюстрация данного результата на примере приема и обработки ЛЧМ-импульса длительностью 10 мкс и девиацией 2 МГц (база сигнала составляет $B = 20$) на фоне внутреннего шума при частоте дискретизации $F_d = 20$ МГц представлена на рисунках 2 и 3. Рисунок 2 характеризует практически полное маскирование полезного сигнала внутренним шумом при входном отношении сигнал-шум, равном 0 дБ. И только после этапа когерентного накопления на выходе приемника появляется хорошо различимый импульсный отклик в момент окончания полезного сигнала (рисунок 3). Выигрыш в мгновенном отношении сигнал-шум на выходе по сравнению с входом в данном случае составляет ≈ 23 дБ, что полностью соответствует дискретной длительности полезного сигнала ($N = 200$).

Полученный результат требует пояснений. Сначала рассмотрим пример, когда информативная часть спектра входного полезного широкополосного сигнала путем частотных преобразований максимально смещена в область низких частот (на минимальную промежуточную частоту). В этом случае средняя частота спектра составляет $f_{\text{пр}} = \Delta F/2$, а его максимальная частота равна ΔF . При этом в соответствии с теоремой Котельникова минимальная частота дискретизации в 2 раза больше: $F_d' = 2\Delta F$, а выигрыш в отношении сигнал-шум с учетом выражения (12) составляет

$$N' = T_s F_d' = 2T_s \Delta F = 2B,$$

где $B = T_s \Delta F$ – база сигнала, равная произведению его длительности на ширину спектра.

Второй пример: если входной сигнал преобразован на видеочастоту, то максимальная частота его спектра составляет $\Delta F/2$, а минимальная частота дискретизации $F_d'' = \Delta F$, что в 2 раза меньше, чем в предыдущем случае. При этом выигрыш в отношении сигнал-шум

$$N'' = T_s F_d'' = T_s \Delta F = B.$$

Выигрыш уменьшился в 2 раза, но *это абсолютно не означает*, что отношение сигнал-шум на выходе ЦСФ ухудшилось. Просто уменьшилось входное отношение сигнал-шум за счет оцифровки шума в более узкой полосе частот (ΔF , а не $2\Delta F$, как в первом примере).

Итак, при увеличении частоты дискретизации растет входное отношение сигнал-шум, но растет и выигрыш. При этом отношение сигнал-шум на выходе цифрового устройства обработки не изменяется.

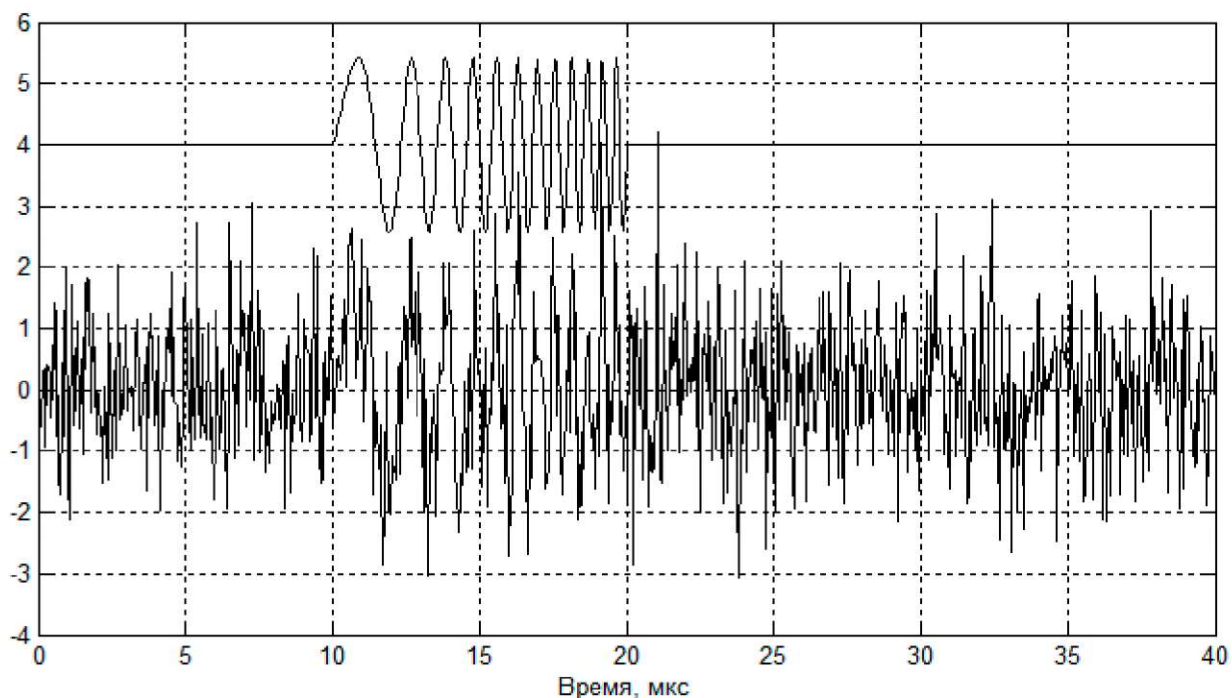


Рисунок 2 – Полезный сигнал (верхний график для наглядности поднят на 4 единицы) и аддитивная смесь полезного сигнала и шума (нижний график) на входе устройства когерентного накопления (отношение сигнал-шум по входу $q_{\text{вх}} = 0$ дБ)

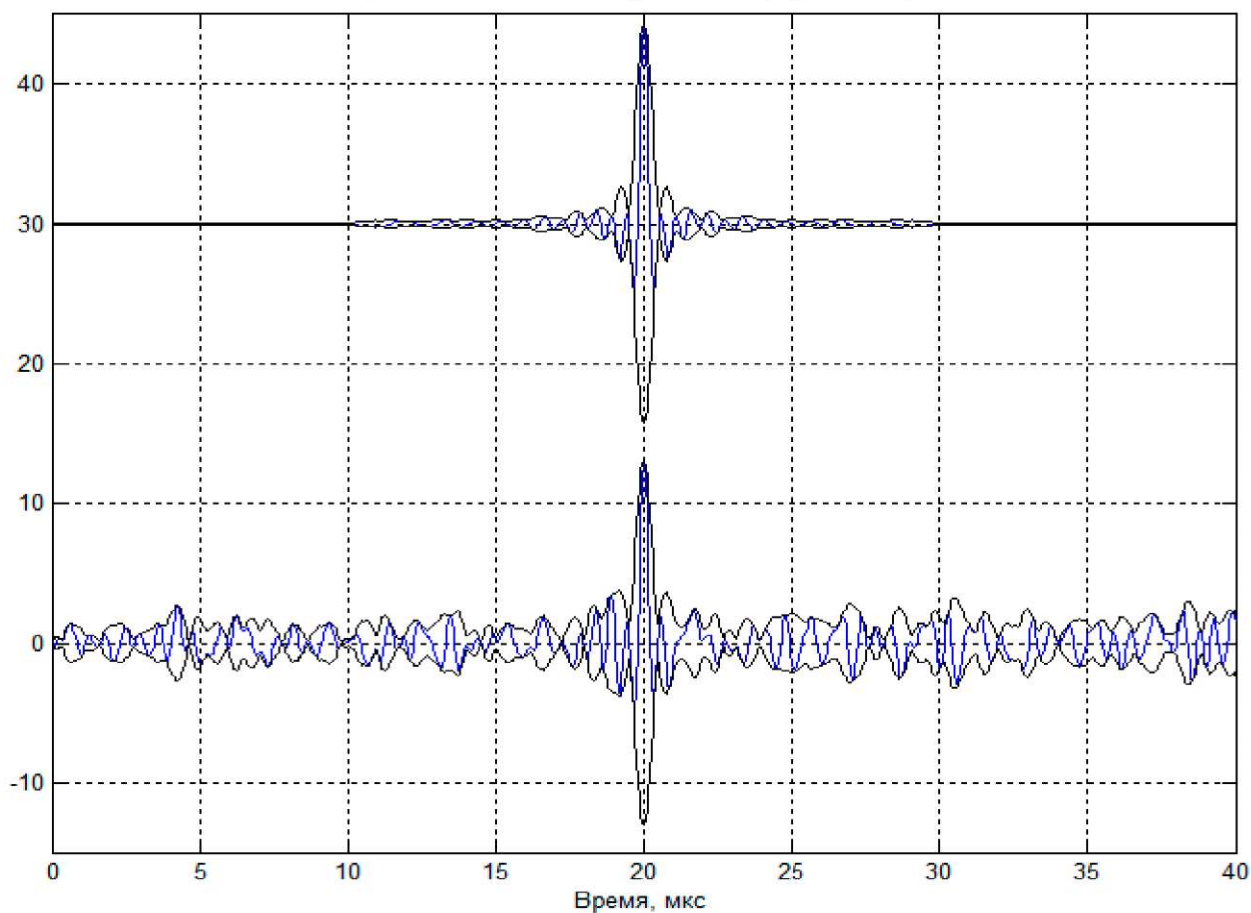


Рисунок 3 – Сигнальный (верхний график для наглядности поднят на 30 единиц) и полный (нижний график) отклики устройства когерентного накопления (мгновенное отношение сигнал-шум в центральной точке отклика $q_{\text{вых}} \approx 23$ дБ)

Используя выражение (9), можно получить зависимость отношения сигнал-шум по мощности на выходе СФ от спектральной плотности входного шума:

$$q_{\text{вых}}^2 = \frac{\overline{P}_s N}{G_0 F_d} = \frac{\overline{P}_s F_d T_s}{G_0 F_d} = \frac{\overline{P}_s T_s}{G_0} = \frac{\mathcal{E}_s}{G_0}.$$

Таким образом, для случая цифровой обработки принимаемого сигнала математически строго доказано известное (но только для аналоговых систем) утверждение о том, что отношение сигнал-шум на выходе согласованного фильтра определяется исключительно энергией полезного сигнала и спектральной плотностью мощности шума [3, с. 225]. Данное отношение *не зависит от частоты дискретизации* принимаемого сигнала (конечно, при ее выборе в соответствии с теоремой Котельникова).

Наконец, важным выводом, непосредственно следующим из полученных результатов, является то, что отношение сигнал-шум на выходе устройства когерентной обработки определяется не шириной амплитудно-частотной характеристики приемника, равной ширине спектра полезного сигнала, а исключительно длительностью полезного сигнала или его энергией. Возвращаясь к задаче, рассмотренной в начале статьи, с учетом полученных результатов можно утверждать, что при использовании более длительного сигнала ($\tau_2 = 100$ мкс) отношение сигнал-шум в 10 раз больше, чем при использовании сигнала длительностью $\tau_1 = 10$ мкс. Несмотря на то, что оба сигнала имеют одинаковую частотную девиацию (5 МГц), а значит, и одинаковую ширину спектра, разница в отношении сигнал-шум на выходе существенна и составляет 10 дБ.

Список литературы

1. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1963.
2. Лапука, О. Г. Анализ и синтез в классе дискретных конечномерных систем: моногр. / О. Г. Лапука, К. К. Пашенко. – Минск: ВАРБ, 2010.
3. Финкельштейн, М. И. Основы радиолокации: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с.: ил.
4. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольника; пер. с англ.; под общ. ред. К. Н. Трофимова. – Нью-Йорк, 1970. – Т. 1: Основы радиолокации / под ред. Я. С. Ицхоки. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

*Сведения об авторе:

Лапука Олег Георгиевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 11.03.2013 г.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ, ОПИСЫВАЕМЫХ ГАРМОНИЧЕСКИМИ И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

УДК 621.3

А. Н. Малашин, С. А. Чумаков*

В рамках спирально-векторного метода анализа электрических цепей предложен новый аналитический способ исследования неустойчивых процессов, возникающих под действием последовательности импульсов, задаваемых гармоническими и экспоненциальными функциями. Получено общее аналитическое выражение для реакции на такие импульсы электрической цепи произвольного порядка. Адекватность расчетных соотношений проверена сравнением данных, полученных на аналитической модели цепи второго порядка с результатами имитационного моделирования.

Within the limits of the electric circuits spirally-vector analysis method of unsteady processes research arising under the influence of impulses sequence being set by the harmonious and exponential is offered. The general analytical expression for such a response on such impulses of an electric circuit of a random order is received. The adequacy of rated relations is checked up by comparing the data received based on analytical model of a circuit of the second order with the outcomes of a simulation modelling.

Целесообразность рассмотрения данного вопроса диктуется тем обстоятельством, что работа современной силовой преобразовательной и импульсной техники связана с действием в электрических цепях импульсов тока или напряжения рассматриваемой формы [1–4]. Анализ электромагнитных процессов в этом случае можно проводить, используя спектральные представления, однако часто удобнее применить подход, основанный на учете специфической формы воздействий и свойствах спиральных векторов [5].

Пусть на вход схемы поступает последовательность импульсов ЭДС, описываемых на периоде повторения выражением

$$e(t) = \begin{cases} e^{-\delta_e t} E_m \cos \omega_e t + \psi_e; & t \in [0, \tau], \\ 0; & t \in [\tau, T]. \end{cases} \quad (1)$$

На рисунке 1 в качестве примера показан вид последовательности импульсов в случае $\delta_e = 0$, $\omega \approx 2\pi/T$, $\psi_e < 0$.

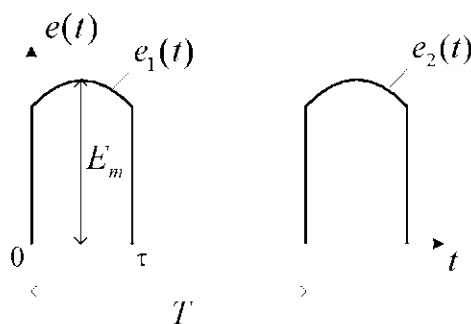


Рисунок 1 – Эпюры входных импульсов напряжения источника

Запишем выражение для первого импульса последовательности, используя понятие спирального вектора и свойства единичной функции включения:

$$e_1^c = 1 \int_0^t E_m e^{j\omega_e t} e^{-\delta_e + j\omega_e t} - 1 \int_{t-\tau}^t E_m e^{j\omega_e t} e^{+\delta_e + j\omega_e t} = \\ = 1 \int_0^t \dot{E}_m e^{\lambda_e t} - 1 \int_{t-\tau}^t \dot{E}_m e^{\lambda_e t} e^{\lambda_e \tau} = e_{11}^c + e_{12}^c,$$

где $\lambda_e = \pm\delta_e + j\omega_e$, $\lambda_{e-} = \pm\delta_e - j\omega_e$, $\lambda_i = \pm\delta_i + j\omega_i$ – соответственно: комплексная частота задающего воздействия, комплексно-сопряженная частота задающего воздействия, i -я собственная комплексная частота электрической цепи.

Отклик схемы, возникающий под действием импульса e_1^c на отрезке времени $0, \tau$, может быть определен спирально-векторным методом как реакция на воздействие ЭДС e_{11}^c , используя выражение (24), полученное в [6]:

$$i_{0,\tau}^c = i_{11}^c = \frac{W_{z_c} \lambda_c}{V_z \lambda_{e-}} e^c + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t} + \\ + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} e^{\lambda_i t}, \quad (2)$$

где $V_z \lambda / W_{z_c} \lambda = Z \lambda$ – передаточная функция (сопротивление) для определения спирального вектора искомого сигнала (тока) в электрической цепи;

s_1, s_2 – соответственно: число действительных и комплексно-сопряженных корней характеристического уравнения электрической цепи.

На интервале τ, T к току i_{11}^c добавляется еще одно слагаемое, возникающее под действием ЭДС, – e_{12}^c . По аналогии с равенством (2) запишем:

$$i_{12}^c = -\frac{W_{z_c} \lambda_e}{V_z \lambda_{e-}} e^c - \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e} e^{\lambda_e \tau}}{\lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - \tau} - \\ - \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e} e^{\lambda_e \tau}}{\lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - \tau} - \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\omega_e} e^{\lambda_{e-} \tau}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} e^{\lambda_i t - \tau}. \quad (3)$$

Суммируя выражения (2) и (3), получаем уравнение для расчета спирального вектора выходного тока на отрезке времени τ, T :

$$i_{\tau,T}^c = i_{11}^c + i_{12}^c = \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_e} [1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}] e^{\lambda_i t} + \\ + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_e} [1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}] e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_c} \lambda_i}{V_z' \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\omega_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} [1 - e^{\lambda_{e-} - \lambda_i \tau}] e^{\lambda_i t}. \quad (4)$$

Второй импульс ЭДС e_2 запаздывает относительно начала отсчета на время T (см. рисунок 1). Поэтому на интервале времени $T, T+\tau$ выходной сигнал можно получить, прибавив к равенству (4) записанное с учетом изменения начала отсчета уравнение (2):

$$\begin{aligned}
i_{T, T+\tau}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + \frac{W_{z_e} \lambda_e}{V_z \lambda_e} e^c e^{-\lambda_e T} + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t T} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t T} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t T} .
\end{aligned}$$

На интервале паузы после второго импульса $T + \tau, 2T$ выходной ток определяется на основе выражения (4), записанного для каждого из двух импульсов, смещенных на период T относительно друг друга:

$$\begin{aligned}
i_{T+\tau, 2T}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + e^{\lambda_i t - T} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + e^{\lambda_i t - T} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{-j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} e^{\lambda_i t} + e^{\lambda_i t - T} .
\end{aligned}$$

Продолжая аналогичные рассуждения, получаем выражения для расчета выходного спирального вектора в промежутках времени после n -го импульса $nT, nT + \tau$ и $[nT + \tau, n+1 T]$:

$$\begin{aligned}
i_{nT, nT+\tau}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{-\lambda_i T} + \dots + e^{-\lambda_i (n-1) T}) e^{\lambda_i t} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{-\lambda_i T} + \dots + e^{-\lambda_i (n-1) T}) e^{\lambda_i t} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{-\lambda_i T} + \dots + e^{-\lambda_i (n-1) T}) e^{\lambda_i t} + \\
&+ \frac{W_{z_e} \lambda_e}{V_z \lambda_e} e^c e^{-\lambda_e nT} + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - nT} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - nT} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - nT} ; \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
i_{nT+\tau, n+1 T}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{\lambda_i T} + \dots + e^{\lambda_i nT}) e^{\lambda_i t} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{\lambda_i T} + \dots + e^{\lambda_i nT}) e^{\lambda_i t} + \\
&+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{-j\omega_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} (1 + e^{-\lambda_i T} + \dots + e^{-\lambda_i nT}) e^{\lambda_i t} . \quad (6)
\end{aligned}$$

Воспользовавшись выражением для суммы членов геометрической прогрессии со знаменателем $e^{-\lambda_i T}$, преобразуем равенства (5) и (6):

$$\begin{aligned}
 i_{nT, nT-\tau}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{\lambda_i nT} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{-\lambda_i nT} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \\
 &+ \sum_{i=s_1-1}^{i=s_1-s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{-j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_{e-}} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{-\lambda_i nT} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \\
 &+ \frac{W_{z_e} \lambda_e}{V_z \lambda_e} E_m e^{j\psi_e} e^{\lambda_e t - nT} + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - nT} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t - nT} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1-s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{-j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_{e-}} e^{\lambda_i t - nT}; \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_{nT, \tau, n-1T}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{-\lambda_i n+1T} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{-\lambda_i n-1T} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{-j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_{e-}} 1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau} \frac{e^{\lambda_i n-1T} - 1}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Произведем замену переменной $t = nT + t'$ в уравнениях (7) и (8), где t' – момент времени от начала текущего импульса, и устремим число импульсов до данного импульса к бесконечности $n \rightarrow \infty$. При этом из выражений (7) и (8) получаем формулы для определения спирального вектора установившейся составляющей выходного тока под действием периодической последовательности импульсов:

$$\begin{aligned}
 i_{s, 0, \tau}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t'} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \left[\frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} + \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} \right] e^{\lambda_i t'} + \\
 &+ \frac{W_{z_e} \lambda_e}{V_z \lambda_e} E_m e^{j\psi_e} e^{\lambda_e t'} + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} e^{\lambda_i t'} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \left[\frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} + \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \right] e^{\lambda_i t'}; \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_{s, \tau, T}^c &= \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t'} + \\
 &+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \left[\frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} + \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} \right] e^{\lambda_i t'}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Произведя группировку слагаемых в выражениях (9) и (10) и обозначая время от начала отсчета переменной t , получаем окончательные равенства для расчета установившейся составляющей выходного сигнала:

$$i_{s,0,\tau}^c = \frac{W_{z_e} \lambda_e}{V_z \lambda_e} e^c + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t}; \quad (11)$$

$$i_{s,\tau,T}^c = \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_e} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_e} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t}. \quad (12)$$

После того как найдена установившаяся составляющая, для отыскания общего решения в рамках спирально-векторного метода может быть использован следующий прием. Соотношения, аналогичные равенствам (11) и (12), записанные относительно токов индуктивностей L_k и напряжений емкостей C_i исследуемой электрической схемы, позволяют рассчитать начальные значения токов и напряжений реактивных элементов в момент коммутации t_p , соответствующие отсутствию в общем решении переходной составляющей:

$$i_{L_k,0,\tau}^c t_p = \frac{W_{z_{ek}} \lambda_e}{V_z \lambda_e} e^c t_p + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p}; \quad (13)$$

$$i_{L_k,s,\tau,T}^c t_p = \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p}; \quad (14)$$

$$u_{C_p,0,\tau}^c t_p = \frac{W_{E_i} \lambda_e}{V_z \lambda_e} e^c t_p + \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{E_i} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{-\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{E_i} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{E_i} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{e^{-\lambda_i T} - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{e^{\lambda_i T} - 1} e^{\lambda_i t_p}; \quad (15)$$

$$u_{C_p,s,\tau,T}^c t_p = \sum_{i=1}^{i=s_1} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i E_m e^{j\psi_e}}{V'_z \lambda_i \lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p} +$$

$$+ \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \frac{W_{z_{ek}} \lambda_i}{V'_z \lambda_i} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_i - \lambda_{e-}} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_i \tau}}{1 - e^{\lambda_i T}} e^{\lambda_i t_p}. \quad (16)$$

Начальные значения напряжений емкостей и токов индуктивностей, эквивалентирующие подключение цепи к источнику периодических импульсов при нулевых начальных условиях, находим как взятую с противоположным знаком реальную часть соответствующего выражения (13), (15) или (14), (16):

$$I_{L_{ks}} = -\operatorname{Re}\left[i_{L_{ks}}^c t_p\right], U_{C_{ls}} = -\operatorname{Re}\left[u_{C_{ls}}^c t_p\right]. \quad (17)$$

Подставив полученные с помощью равенств (17) значения токов и напряжений в выражения для переходных составляющих, вызванных ненулевыми начальными условиями (см. формулу (24) в [6]), и записывая установившуюся составляющую с помощью соотношений (11), (12), получаем уравнения, описывающие в общем виде реакцию электрической цепи на периодические импульсы:

$$i_{\lambda_e, \lambda_1, \dots, \lambda_s, t}^c = i_{s, \tau}^c + \sum_{i=1}^{i=s_1} \left(\sum_{k=1}^{k=q} \frac{L_k I_{L_{ks}} + I_{L_{k0}}}{Z_k' \lambda_i} + \sum_{l=1}^{l=n} \frac{U_{C_{ls}} + U_{C_{l0}}}{\lambda_l Z_l' \lambda_i} \right) e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \left(\sum_{k=1}^{k=q} \frac{2L_k I_{L_{ks}} + I_{L_{k0}}}{Z_k' \lambda_i} + \sum_{l=1}^{l=n} \frac{2 U_{C_{ls}} + U_{C_{l0}}}{\lambda_l Z_l' \lambda_i} \right) e^{\lambda_i t}, \quad (18)$$

$$i_{\lambda_e, \lambda_1, \dots, \lambda_s, t}^c = i_{s, \tau, T}^c + \sum_{i=1}^{i=s_1} \left(\sum_{k=1}^{k=q} \frac{L_k I_{L_{ks}} + I_{L_{k0}}}{Z_k' \lambda_i} + \sum_{l=1}^{l=n} \frac{U_{C_{ls}} + U_{C_{l0}}}{\lambda_l Z_l' \lambda_i} \right) e^{\lambda_i t} + \sum_{i=s_1+1}^{i=s_1+s_2} \left(\sum_{k=1}^{k=q} \frac{2L_k I_{L_{ks}} + I_{L_{k0}}}{Z_k' \lambda_i} + \sum_{l=1}^{l=n} \frac{2 U_{C_{ls}} + U_{C_{l0}}}{\lambda_l Z_l' \lambda_i} \right) e^{\lambda_i t}, \quad (19)$$

где $U_{C_{l0}}, I_{L_{k0}}$ – начальные значения напряжений на емкостях и токов в индуктивностях, определяемые в момент коммутации t_p ;

$Z_k \lambda, Z_l \lambda$ – передаточные функции (сопротивления) для определения спирального вектора выходного сигнала (тока), вызванного ненулевым источником ЭДС, эквивалентирующим начальный ток в k -й индуктивности и напряжение на l -й емкости.

Особенности процесса расчета по приведенным соотношениям рассмотрим на примере получения аналитического выражения для напряжения на выходе эквивалентной схемы понижающего регулятора, представленной на рисунке 2.

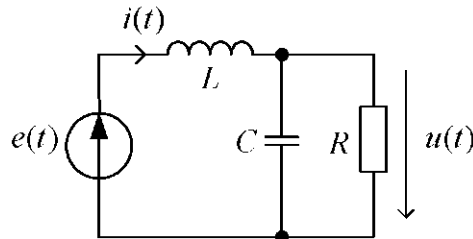


Рисунок 2 – Эквивалентная схема понижающего регулятора

Пусть на вход поступает периодическая последовательность импульсов ЭДС, описываемых выражением (1), с параметрами $E_m = 10$ В, $\delta_e = 0$, $\omega = 2\pi 10^4$ рад/с, $\psi_e = -1,21$ рад, $\tau = 35$ мкс, $T = 100$ мкс (см. рисунок 1). Параметры схемы ($L = 200$ мкГн, $C = 20$ мкФ,

$R = 20 \text{ Ом}$) соответствуют колебательному переходному процессу с модулем комплексной частоты колебаний $\omega_{0t} = 1/\sqrt{LC} = 15811,4 \text{ рад/с}$, действительной частью комплексной частоты $\delta_t = 1/2CR = 1250$ и собственной частотой колебаний $\omega_t = 15761,9 \text{ рад/с}$.

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} \gamma &= \arg \omega_{0t}^2 - \omega^2, 2\delta_t \omega, \Gamma = \sqrt{\omega_{0t}^2 - \omega^2 + 2\delta_t \omega^2}, \beta = \arg -\delta_t, \omega_t - \omega, \\ B &= \sqrt{\delta_t^2 + \omega_t - \omega^2}, \beta' = \arg -\delta_t, \omega_t + \omega, B' = \sqrt{\delta_t^2 + \omega_t + \omega^2}, \\ \theta &= \arg e^{\delta_t T} \cos \omega_t T - 1, -e^{\delta_t T} \sin \omega_t T, \Theta = \sqrt{e^{\delta_t T} \cos \omega_t T - 1^2 + -e^{\delta_t T} \sin \omega_t T^2}, \\ \theta' &= \arg 1 - e^{-\delta_t T} \cos \omega_t T, -e^{-\delta_t T} \sin \omega_t T, \Theta' = \sqrt{1 - e^{-\delta_t T} \cos \omega_t T^2 + -e^{-\delta_t T} \sin \omega_t T^2}, \end{aligned}$$

с учетом которых выражение для спирального вектора установившейся составляющей выходного напряжения на отрезке времени $0, \tau$ определим из соотношения (11), применяя соответствующие передаточные функции для рассматриваемой схемы:

$$\begin{aligned} u_{s,0,\tau}^c &= \frac{W_E \lambda_e}{V \lambda_e} E_m e^{j\psi_e} e^{\lambda_e t} + \frac{W_E \lambda_t}{V' \lambda_t} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_t - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_t T} - e^{\lambda_e - \lambda_t \tau}}{e^{-\lambda_t T} - 1} e^{\lambda_t t} + \\ &+ \frac{W_E \lambda_t}{V' \lambda_t} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_t - \lambda_e} \frac{e^{-\lambda_t T} - e^{\lambda_e - \lambda_t \tau}}{e^{\lambda_t T} - 1} e^{\lambda_t t} = \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{j\psi_e} e^{j\omega t}}{\omega_{0t}^2 - \omega^2 + j2\delta_t \omega} + \frac{\omega_{0t}^2}{2\omega_t} e^{-j\pi/2} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{-\delta_t + j\omega_t - j\omega} \times \\ &\times \frac{e^{\delta_t T - j\omega_t T} - e^{j\omega - j\omega_t + \delta_t \tau}}{e^{j\omega_t T - \delta_t T} - 1} e^{-\delta_t t + j\omega_t t} + \frac{\omega_{0t}^2}{2\omega_t} e^{j\pi/2} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{-\delta_t + j\omega_t + j\omega} \frac{e^{\delta_t T - j\omega_t T} - e^{-j\omega - j\omega_t + \delta_t \tau}}{e^{j\omega_t T + \delta_t T} - 1} e^{-\delta_t t + j\omega_t t} = \\ &= \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{j\psi_e} e^{j\omega t} e^{-j\gamma}}{\Gamma} + \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{j\psi_e} e^{-j\pi/2} e^{-j\beta} e^{\delta_t T} e^{-j\omega_t T} - e^{\delta_t \tau} e^{-j\omega + \omega_t \tau} e^{-j\theta}}{2\omega_t B \Theta} e^{-\delta_t t + j\omega_t t} \\ &+ \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{-j\psi_e} e^{-j\pi/2} e^{-j\beta'} e^{\delta_t T} e^{-j\omega_t T} - e^{\delta_t \tau} e^{-j\omega + \omega_t \tau} e^{-j\theta'}}{2\omega_t B' \Theta'} e^{-\delta_t t + j\omega_t t}. \end{aligned} \quad (20)$$

На интервале τ, T' спиральный вектор установившейся составляющей выходного напряжения на выходе рассчитывается на основании равенства (12):

$$\begin{aligned} u_{s,\tau,T'}^c &= \frac{W_E \lambda_t}{V' \lambda_t} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{\lambda_t - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_t \tau}}{1 - e^{\lambda_t T'}} e^{\lambda_t t} + \frac{W_E \lambda_t}{V' \lambda_t} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{\lambda_t - \lambda_e} \frac{1 - e^{\lambda_e - \lambda_t \tau}}{1 - e^{\lambda_t T'}} e^{\lambda_t t} = \\ &= \frac{\omega_{0t}^2}{2\omega_t} e^{-j\pi/2} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{-\delta_t + j\omega_t - j\omega} \frac{1 - e^{j\omega - j\omega_t + \delta_t \tau}}{1 - e^{j\omega_t T' - \delta_t T'}} e^{-\delta_t t - j\omega_t t} + \\ &+ \frac{\omega_{0t}^2}{2\omega_t} e^{-j\pi/2} \frac{E_m e^{-j\psi_e}}{-\delta_t + j\omega_t + j\omega} \frac{1 - e^{-j\omega - j\omega_t - \delta_t \tau}}{1 - e^{j\omega_t T' - \delta_t T'}} e^{-\delta_t t + j\omega_t t} = \\ &= \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{j\psi_e} e^{-j\pi/2} e^{-j\beta} 1 - e^{\delta_t \tau} e^{j\omega - \omega_t \tau} e^{-j\theta'}}{2\omega_t B \Theta'} e^{-\delta_t t + j\omega_t t} + \\ &+ \frac{\omega_{0t}^2 E_m e^{-j\psi_e} e^{-j\pi/2} e^{-j\beta'} 1 - e^{\delta_t \tau} e^{-j\omega + \omega_t \tau} e^{-j\theta'}}{2\omega_t B' \Theta'} e^{-\delta_t t + j\omega_t t}. \end{aligned} \quad (21)$$

Установившаяся составляющая напряжения на выходе понижающего регулятора представляет собой реальную часть уравнений (20) и (21):

$$\begin{aligned}
 u_{s\ 0,\tau} = & \frac{\omega_{0t}^2 E_m}{\Gamma} \cos \omega t + \psi_e - \gamma + \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B\Theta} \cos \omega_i t + \psi_e - \pi/2 - \beta - \omega_i T - \theta - \\
 & - \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B\Theta} \cos \omega_i t + \psi_e - \pi/2 - \beta + \omega - \omega_i \tau - \theta + \\
 & + \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B'\Theta} \cos \omega_i t - \psi_e - \pi/2 - \beta' - \omega_i T - \theta - \\
 & - \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B'\Theta} \cos \omega_i t - \psi_e - \pi/2 - \beta' - \omega + \omega_i \tau - \theta ; \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_{s\ \tau,T} = & \frac{e^{-\delta_t t} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B\Theta'} \cos \omega_i t + \psi_e - \pi/2 - \beta - \theta' - \\
 & - \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B\Theta'} \cos \omega_i t + \psi_e - \pi/2 - \beta + \omega - \omega_i \tau - \theta' + \\
 & + \frac{e^{-\delta_t t} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B'\Theta'} \cos \omega_i t - \psi_e - \pi/2 - \beta' - \theta' - \\
 & - \frac{e^{-\delta_t t} e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 E_m}{2\omega_i B'\Theta'} \cos \omega_i t - \psi_e - \pi/2 - \beta' - \omega + \omega_i \tau - \theta' . \quad (23)
 \end{aligned}$$

Для момента коммутации $t_p = 0$ из выражения (22) определяем напряжение на емкости, эквивалентирующее нулевые начальные условия:

$$\begin{aligned}
 U_{Cs} = -\operatorname{Re} \left[u_{Cs\ 0,\tau}^c \ 0 \right] = & -\frac{\omega_{0t}^2 K_m}{\Gamma} \cos \psi_e - \gamma - \frac{e^{\delta_t T} \omega_{0t}^2 K_m}{2\omega_i B\Theta} \cos \psi_e - \pi/2 - \beta - \omega_i T - \theta + \\
 & + \frac{e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 K_m}{2\omega_i B\Theta} \cos \psi_e - \pi/2 - \beta + \omega - \omega_i \tau - \theta - \frac{e^{\delta_t T} \omega_{0t}^2 K_m}{2\omega_i B'\Theta} \cos -\psi_e - \pi/2 - \beta' - \omega_i T - \theta + \\
 & + \frac{e^{\delta_t \tau} \omega_{0t}^2 K_m}{2\omega_i B'\Theta} \cos -\psi_e - \pi/2 - \beta' - \omega + \omega_i \tau - \theta .
 \end{aligned}$$

Соотношение для расчета установившегося значения спирального вектора тока в момент коммутации t_p запишем, воспользовавшись уравнением (11), с учетом выражений для передаточных функций:

$$\begin{aligned}
 i_{Ls\ 0,\tau}^c \ t_p = & \frac{\omega_{0t}^2 \ 2\delta_i + j\omega \ E_m e^{j\psi_e} e^{j\omega t_p}}{2\delta_i R \ \omega_{0t}^2 - \omega^2 + j2\delta_i \omega} + \\
 & + \frac{\omega_{0t}^3 e^{j\arctg \ \omega_i / \delta_i}}{4\delta_i R \omega_i e^{j\pi/2}} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{-\delta_i + j\omega_i - j\omega} \frac{e^{\delta_i T - j\omega_i T} - e^{-j\omega - j\omega_i + \delta_i \tau}}{e^{j\omega_i T + \delta_i T} - 1} e^{-\delta_i t_p + j\omega_i t_p} + \\
 & + \frac{\omega_{0t}^3 e^{j\arctg \ \omega_i / \delta_i}}{4\delta_i R \omega_i e^{j\pi/2}} \frac{E_m e^{j\psi_e}}{-\delta_i + j\omega_i + j\omega} \frac{e^{\delta_i T - j\omega_i T} - e^{-j\omega - j\omega_i + \delta_i \tau}}{e^{j\omega_i T - \delta_i T} - 1} e^{-\delta_i t_p - j\omega_i t_p} =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\Gamma' E_m e^{j\psi_e} e^{j\gamma'} e^{-j\gamma} e^{j\omega t_p}}{L\Gamma} + \frac{\omega_{0t} e^{-j\alpha} E_m e^{j\psi_e} e^{-j\beta} e^{\delta_t T} e^{-j\omega_t T} - e^{\delta_t \tau} e^{j\omega - \omega_t \tau} e^{-j\theta}}{2L\omega_t B\Theta} e^{-\delta_t t_p + j\omega_t t_p} + \\
&+ \frac{\omega_{0t} e^{-j\alpha} E_m e^{-j\psi_e} e^{-j\beta'} e^{\delta_t T} e^{-j\omega_t T} - e^{\delta_t \tau} e^{-j\omega + \omega_t \tau} e^{-j\theta}}{2L\omega_t B'\Theta} e^{-\delta_t t_p + j\omega_t t_p}. \quad (24)
\end{aligned}$$

В равенстве (24) обозначено:

$$\alpha = \arctg \delta_t / \omega_t = \pi/2 - \arctg \delta_t / \omega_t, \quad \gamma' = \arctg \omega / 2\delta_t, \quad \Gamma' = \sqrt{4\delta_t^2 + \omega^2}.$$

Ток индуктивности, эквивалентирующий нулевые начальные условия, определяем как реальную часть уравнения (24), взятую с противоположным знаком, для времени $t_p = 0$:

$$\begin{aligned}
I_{Ls} = -\operatorname{Re} \left[i_{Ls}^c \ 0 \right] = & -\frac{\Gamma' E_m}{L\Gamma} \cos \psi_e + \gamma' - \gamma - \frac{e^{\delta_t T} \omega_{0t} E_m}{2L\omega_t B\Theta} \cos \psi_e - \alpha - \beta - \omega_t T - \theta + \\
& + \frac{e^{\delta_t \tau} \omega_{0t} E_m}{2L\omega_t B\Theta} \cos \psi_e - \alpha - \beta + \omega - \omega_t \tau - \theta - \frac{e^{\delta_t T} \omega_{0t} E_m}{2L\omega_t B'\Theta} \cos -\psi_e - \alpha - \beta' - \omega_t T - \theta + \\
& + \frac{e^{\delta_t \tau} \omega_{0t} E_m}{2L\omega_t B'\Theta} \cos -\psi_e - \alpha - \beta' - \omega + \omega_t \tau - \theta.
\end{aligned}$$

С учетом передаточных функций, связывающих выход цепи с эквивалентными источниками, обусловленными ненулевыми начальными условиями, запишем уравнения (18) и (19) для исследуемой схемы:

$$u_{0,\tau}^c \ \lambda_e, \lambda_t, t = u_{s,0,\tau} + \left(L I_{Ls} + I_{L0} \frac{\omega_{0t}^2}{\omega_t} e^{-j\frac{\pi}{2}} + U_{Cs} + U_{C0} \frac{\omega_{0t}}{\omega_t} e^{j\alpha} \right) e^{-\delta_t + j\omega_t t}, \quad (25)$$

$$u_{\tau,T}^c \ \lambda_e, \lambda_t, t = u_{s,\tau,T} + \left(L I_{Ls} + I_{L0} \frac{\omega_{0t}^2}{\omega_t} e^{-j\frac{\pi}{2}} + U_{Cs} + U_{C0} \frac{\omega_{0t}}{\omega_t} e^{j\alpha} \right) e^{-\delta_t + j\omega_t t}. \quad (26)$$

Реальная часть аналитического сигнала, задаваемого равенствами (25) и (26), описывает выходное напряжение на выходе понижающего регулятора под действием периодических импульсов в виде участков гармонической функции (рисунок 3).

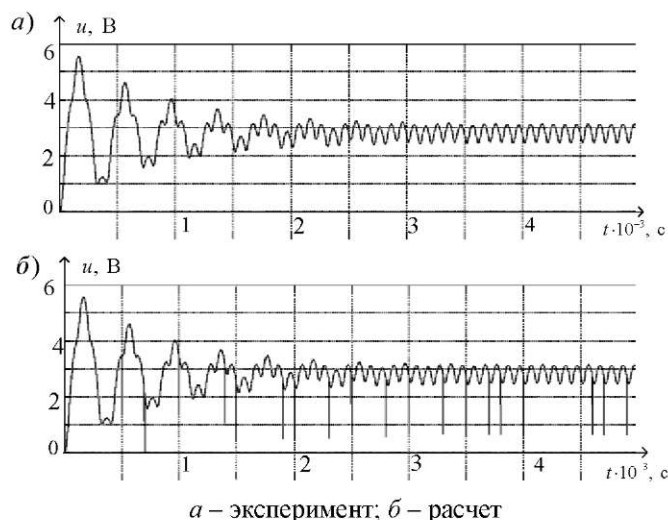


Рисунок 3 – Напряжение на выходе понижающего регулятора

На рисунке 3 показаны полученные на имитационной модели регулятора и рассчитанные зависимости выходного напряжения от времени при включении регулятора. Как видим, полученные аналитические равенства являются абсолютно точными в отличие от выражений, получаемых спектральным методом. Кроме того, в данном случае отсутствует накопление погрешности счета, как, например, при формировании разностных алгоритмов счета по дифференциальным соотношениям. Это открывает широкие возможности для разработки прогнозирующих алгоритмов микропроцессорного управления современными силовыми преобразователями на основе уравнений (21) и (22) [7].

Используя принцип суперпозиции, изложенный подход дает возможность сравнительно просто получать аналитические решения и в случаях импульсов, представленных кусочно-гармоническими и кусочно-экспоненциальными функциями, что позволяет применить разработанный метод расчета при построении аналитических моделей широкого класса современных силовых преобразовательных устройств.

Список литературы

1. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 645 с.
2. Малашин, А. Н. Математическая модель трехфазного активного выпрямителя / А. Н. Малашин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2005. – № 3. – С. 38–44.
3. Малашин, А. Н. Проектирование однофазных активных выпрямителей / А. Н. Малашин // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2005. – № 8. – С. 55–61.
4. Шавелкин, А. А. Анализ возможностей реализации несимметричных каскадных многоуровневых преобразователей частоты / А. А. Шавелкин // Электротехника. – 2009. – № 9. – С. 39–45.
5. Yamamura, S. Spiral Vector Theory of Electric Circuit / S. Yamamura // Proc. of Japan Academy. – 1993. – Vol. 69, Ser. B. – P. 238–243.
6. Малашин, А. Н. Расчет неустановившихся процессов в электрических цепях на основе понятия спирального вектора / А. Н. Малашин, Ю. С. Балцевич // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 1. – С. 68–75.
7. Муромцев, Ю. Л. Микропроцессорные системы энергосберегающего управления: учеб. пособие / Ю. Л. Муромцев, Л. П. Орлова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – 80 с.

*Сведения об авторах:

Малашин Андрей Николаевич.

Чумаков Сергей Анатольевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 20.03.2013 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАЛЬНОГО И АЛЮМИНИЕВОГО КАРКАСОВ КУЗОВОВ-КОНТЕЙНЕРОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 629.113.073

Д. В. Мишута, В. Г. Михайлов*

Приведены результаты сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния стального и алюминиевого каркасов кузовов-контейнеров специального назначения, выполненного методом конечных элементов в пакете ANSYS согласно ГОСТ Р 51876-2008. Использовалась конечно-элементная модель, полученная путем конвертации твердотельной 3D-модели, созданной в пакете ProE.

Results of usage of a finite element method in package ANSYS for strength probes of a shelter of a special purpose are reduced in correspondence GOST R 51876-2008. The finite-element model received by conversion 3D of model, created in packaget ProE was used.

Сегодня в различных областях народного хозяйства все чаще вместо кузовов-фургонов используются кузова-контейнеры специального назначения негрузового типа, которые обеспечивают большую полезную нагрузку и лучшие условия для персонала и оборудования (рисунок 1).

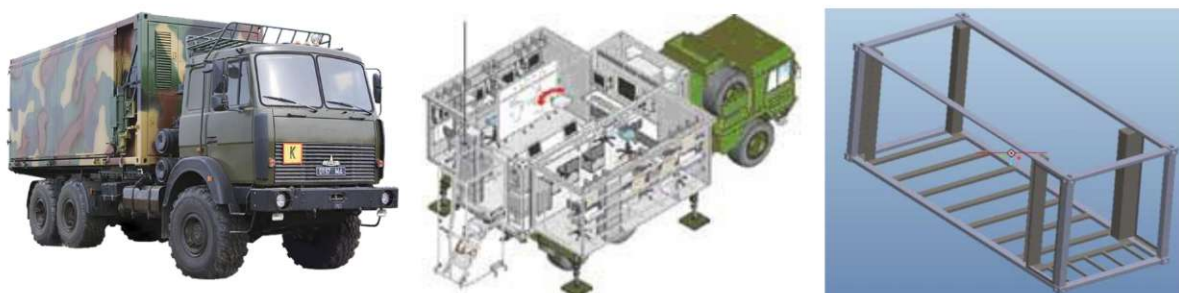


Рисунок 1 – Общий вид машин с кузовами-контейнерами и самого контейнера

Контейнеры данного типа (с полной массой 5–11 т) выполняются по каркасной схеме с использованием сэндвич-панелей для обеспечения теплозащиты и снижения массы. Это обусловлено тем, что они предназначены для установки на шасси автомобилей повышенной проходимости (4 × 4, 6 × 6, 8 × 8) и должны иметь собственную массу с оборудованием, не превышающую грузоподъемность автомобилей (8–15 т). Из-за этого их прочностные показатели получаются ниже, чем у более тяжелых грузовых контейнеров [1], имеющих собственную массу порядка 9–11 т с теплозащитой и полную массу в снаряженном состоянии до 30,48 т. Грузовые контейнеры могут перевозиться только на автопоездах (2–3-осных полуприцепах). Кузова-контейнеры специального назначения в СНГ начали производиться недавно (с 2006 г.) и достаточного опыта их создания у большинства производителей еще нет. Как правило, для изготовления кузовов-контейнеров в СНГ используют сортовой стальной прокат (предел текучести $\sigma_T > 180\text{--}250$ МПа), который может обеспечить допустимую нагрузку штабелирования 200–450 кН. Это меньше требуемых 538 кН на один устанавливаемый сверху грузовой контейнер (массой 30,48 т) согласно ГОСТ Р 51876-2008 с учетом коэффициента динамичности 1,8. Примерно такие же показатели (200–450 кН) имеют большинство зарубежных контейнеров специального назначения.

При использовании более высокопрочных сталей ($\sigma_T > 300$ МПа, типа 09ГС2) можно довести нагрузку до 1615 кН.

Сейчас на отдельных зарубежных кузовах-контейнерах начали применяться алюминиевые сплавы. Как показали проведенные в ООО «Мидивисана» расчеты [2], использование сплава АМг3 ($\sigma_T = 120$ МПа) позволяет снизить полную массу кузова-контейнера всего на

570 кг по сравнению с равным по прочности стальным контейнером с массой 4,5 т (на каркасе с 1520 до 950 кг). В основном применение алюминия больше связано с тем, что он обладает лучшими коррозионными свойствами в условиях влажного и морского климата. Алюминиевый сплав АМг3 может обеспечить контейнеру только два уровня штабелирования (количество устанавливаемых друг на друга грузовых контейнеров).

Сейчас заказчиками выдвигаются более повышенные требования – обеспечить четыре уровня штабелирования – 1615 кН. Появляется интерес к алюминиевым контейнерам. В связи с этим была разработана новая усиленная сварная конструкция кузова-контейнера на основе более высокопрочного алюминиевого сплава АМг6. На основе этой конструкции был проведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) от использования алюминиевого сплава АМг6 и стали 09ГС2, имеющих одинаковый предел текучести ($\sigma_T = 320$ МПа), и оценена целесообразность применения алюминиевых сплавов на этом классе контейнеров.

При расчетах использовалась конечно-элементная модель, полученная путем конвертации 3D-модели, созданной в пакете ProE. В конечно-элементной модели задавались соответствующие характеристики материалов, были наложены заземления (ограничения на перемещение) и приложены нагрузки.

Использовалась твердотельная модель, так как моделирование сварки может привести к еще большим погрешностям [3]. Расчет проводился методом конечных элементов при использовании линейных характеристик материалов.

По оценке в пакете ProE получается, что применение алюминиевого сплава АМг6 снижает массу каркаса контейнера на 968 кг.

Моделирование проводилось при следующих видах статического нагружения по ГОСТ Р 51876-2008:

четырёхуровневое штабелирование (1615 кН);

поперечный перекося при нагрузке 2×75 кН на верхние фитинги;

продольный перекося при нагрузке 2×75 кН на верхние фитинги.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния при нагрузке 1615 кН приведены на рисунках 2 и 3.

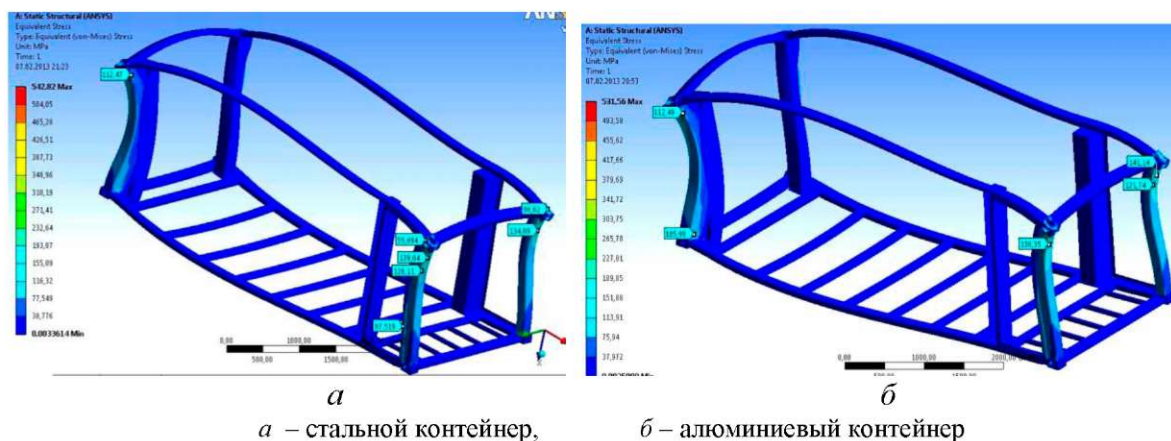


Рисунок 2 – Напряжения в каркасах контейнеров при нагрузке 1615 кН (четырёхуровневое штабелирование)

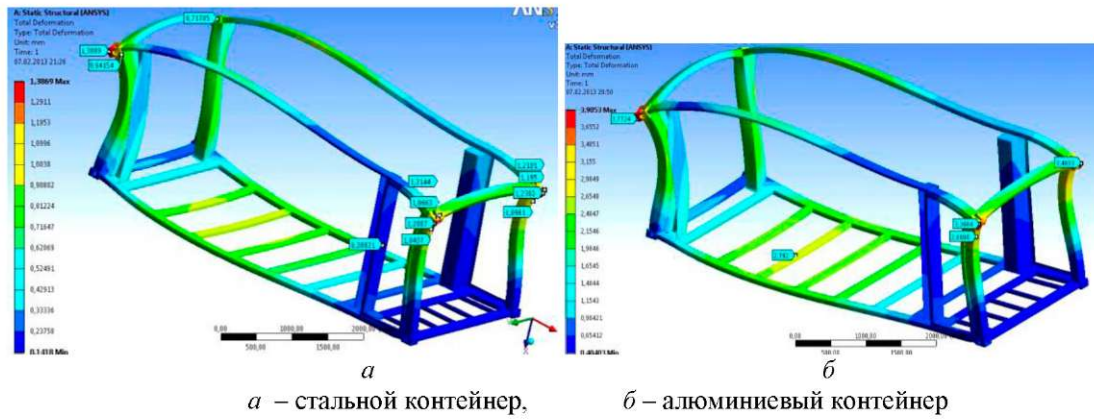


Рисунок 3 – Деформации каркасов контейнеров при нагрузке 1615 кН (четырёхуровневое штабелирование)

Результаты моделирования штабелирования при нагрузке 1615 кН (рисунок 2) показывают, что характер напряжений и их значения в стальной и алюминиевой конструкции одинаковы. Наиболее нагружены стойки в верхней части возле машинного отсека и двери. Напряжения в них достигают ~ 141 МПа. Уровень напряжений на фитингах меньше, чем на стойках. Деформации верхних фитингов у стальной конструкции $\sim 1,21$ – $1,24$ мм, у алюминиевой – $3,33$ – $3,34$. По стойкам имеется 2–3-кратный запас прочности. В целом разработанный каркас кузова-контейнера может обеспечить пятиуровневое штабелирование (2188 кН) при 1,5-кратном запасе и обладает более высокими показателями, чем усиленный контейнер Weatherhaven (1900 кН). А при 1,2-кратном запасе может обеспечить шестиуровневое штабелирование (2610 кН).

Результаты моделирования при поперечном перекосе 2×75 кН приведены на рисунках 4 и 5. Максимальные напряжения на угловых стойках со стороны двери составляют 225–298 МПа. Последнее значение связано с острыми углами сварки стойки с фитингом. В реальных условиях их может и не быть. А со стороны машинного отсека максимальные напряжения составляют 332–408 МПа и превышают предел текучести использованных материалов. Это во многом также связано с концентраторами напряжений в местах острых углов. Величина деформации в зоне вертикальных фитингов составляет для стальной и алюминиевой конструкций соответственно 20,5 и 57,3 мм. Результаты исследования свидетельствуют, что используемые материалы при данной нагрузке не обеспечивают заданной прочности, так как нагрузка 2×75 кН велика для данного типа контейнера. Требуется переход на еще более качественные стали ($\sigma_T > 500$ – 700 МПа), как это делается за рубежом, или установка дополнительных укосин. Кроме того, можно декларировать уменьшение допустимой нагрузки до 2×50 кН и отразить ее в табличке CSC, как это сделано на контейнере Weatherhaven (46 кН).

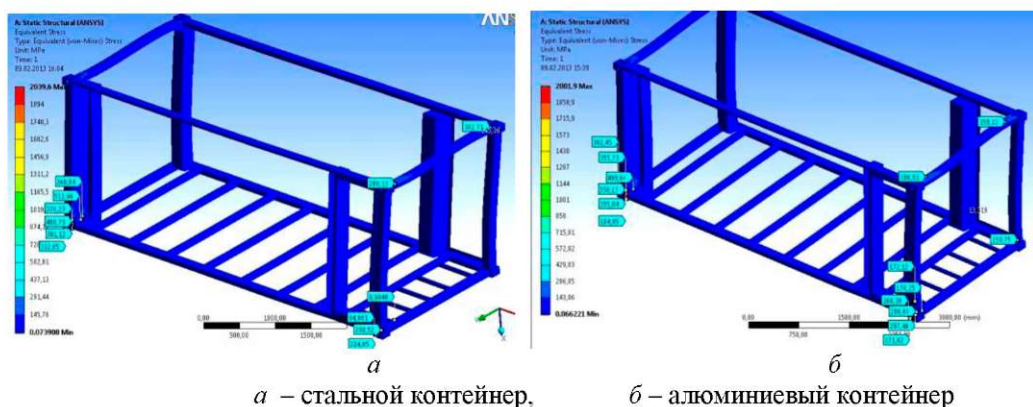


Рисунок 4 – Напряжения в каркасах контейнеров при поперечном перекосе при нагрузке 2×75 кН

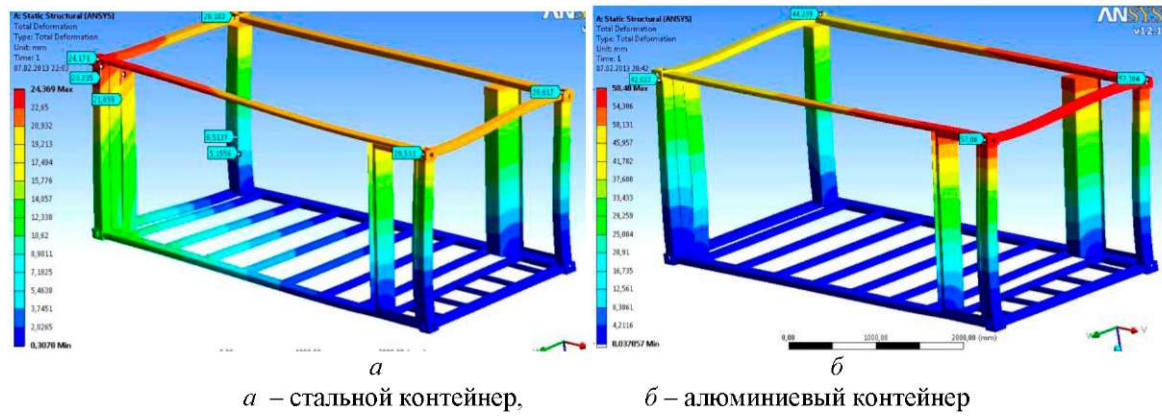


Рисунок 5 – Деформации контейнеров при поперечном перекосе при нагрузке 2×75 кН

Результаты моделирования при продольном перекосе 2×75 кН (рисунки 6 и 7) показали, что наиболее сильно нагружены вертикальные угловые стойки возле двери. Напряжения в них достигают ~ 285 МПа. Напряжения в стойках возле машинного отсека составляют 140–202 МПа. Здесь также сказывается фактор концентрации напряжений, связанный с острыми углами. В реальности их может и не быть.

Деформация верхних стоек составляет порядка 17,6–17,8 мм на стальном каркасе и 50,6–51,9 мм на алюминиевом. В целом напряженно-деформированное состояние каркаса при продольном перекосе получается на 30 % лучше, чем при поперечном перекосе. Но и здесь необходимы или переход на более высокопрочные стали с пределом текучести $\sigma_T > 400$ –500 МПа, или снижение нагрузок.

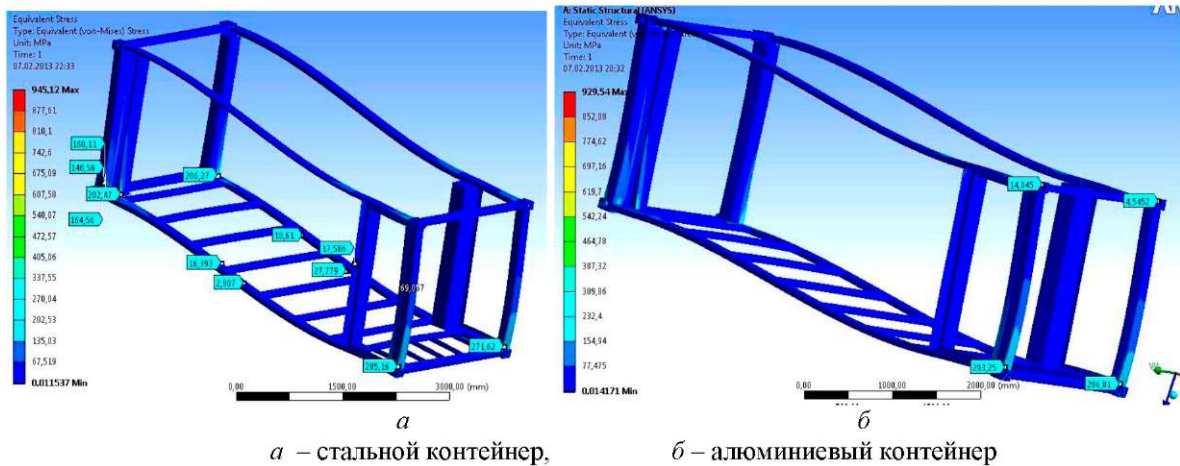


Рисунок 6 – Напряжения в каркасе контейнера при продольном перекосе при нагрузке 2×75 кН

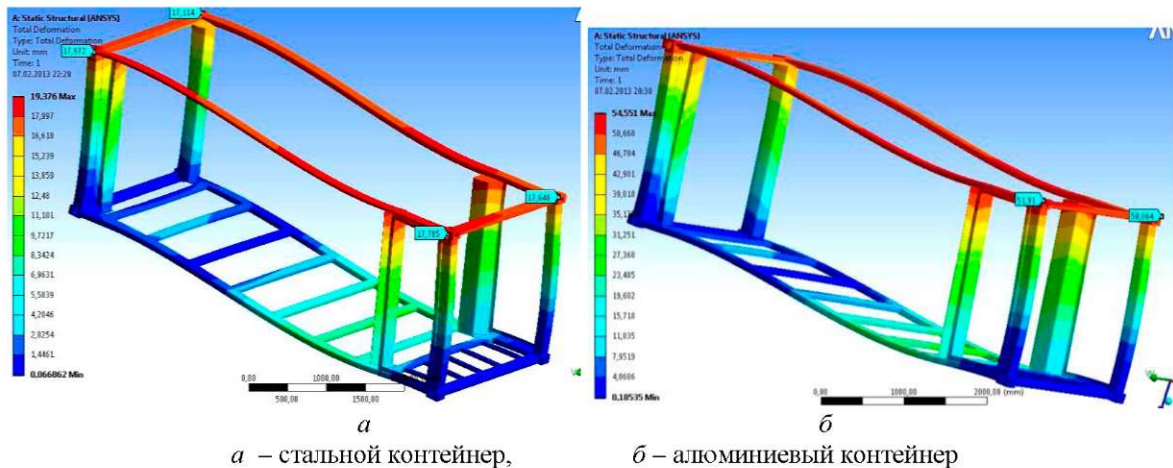


Рисунок 7 – Деформации каркасов контейнеров при продольном перекосе при нагрузке 2×75 кН

Результаты моделирования свидетельствуют, что деформации алюминиевого каркаса получаются в 2,8–2,9 раза больше, чем у стального. Такой характер деформаций для этих материалов легко объясняется законом Гука, по которому абсолютное удлинение прямо пропорционально силе и обратно пропорционально модулю Юнга, которые для стали и алюминия составляют соответственно $196 \cdot 10^9$ Н/м², $68 \cdot 10^9$ Н/м².

В целом применение тех или иных материалов при задаваемых характеристиках прежде всего зависит от требований и готовности заказчика их оплачивать. Стоимость алюминиевого сплава АМг6 в 9,3 раза больше, чем стали 09ГС2, из-за чего стоимость контейнера только по затратам на материалы увеличится примерно на 4000 долларов USA, включая увеличенные затраты на аргонную сварку (до 1000 долл.).

Как показывает анализ параметров выпускаемых за рубежом контейнеров специального назначения и опыт эксплуатации в полевых условиях, обеспечение более высоких прочностных показателей (более 4 уровней штабелирования) в настоящее время нецелесообразно. Для использования в составе автомобильного шасси вполне достаточно иметь уровень штабелирования 2–4. Обеспечение уровня штабелирования 2 и более гарантирует от остаточной деформации контейнера в тяжелых дорожных условиях и заклинивания дверей. Кроме того, при проектировании кузовов-контейнеров необходимо закладывать возможность увеличения массы устанавливаемого оборудования при модернизации контейнера, так как срок его службы 20 лет.

Применение алюминиевых сплавов оправдано только для определенных климатических условий. Это подтверждается практикой зарубежных фирм, использующих в основном сталь. Последние часто декларируют о возможности создания кузовов-контейнеров с 8 уровнями штабелирования, но реально выпускают кузова-контейнеры в основном под нагрузку 200–450 кН (менее одного уровня). Создать кузов-контейнер с параметрами грузовых контейнеров и минимальной массой не так просто. Это под силу только организациям с высоким уровнем проектирования и производства при использовании новейших расчетных пакетов.

Заключение

1. Результаты моделирования при штабелировании, поперечном и продольном перекосах свидетельствуют, что характер и значения напряжений в стальной и алюминиевой конструкциях получаются одинаковыми. Однако значения деформаций алюминиевого каркаса в 2,8–2,9 раза больше деформаций стального каркаса. Такой характер деформаций для

этих материалов легко объясняется законом Гука, по которому абсолютное удлинение прямо пропорционально силе и обратно пропорционально модулю Юнга.

2. Выполненное исследование показало, что разработанная усиленная конструкция каркаса при использовании материалов с пределом текучести $\sigma_T = 320$ МПа (как для алюминиевого сплава АМг6, так и для стали 09ГС2) обеспечивает четырехуровневое штабелирование (1615 кН) при 1,5-кратном запасе прочности. А при 1,2-кратном запасе прочности может обеспечить шестиуровневое штабелирование и обладает более высокими показателями (2610 кН), чем усиленный контейнер Weatherhaven (1900 кН).

3. Результаты моделирования при поперечном перекосе 2×75 кН показали, что в конструкции при неиспользовании укосин максимальные напряжения на угловых стойках со стороны двери составляют 225–298 МПа, а со стороны машинного отсека максимальные напряжения составляют 332–408 МПа. Полученные значения превышают предел текучести использованных материалов. Данное обстоятельство во многом связано с острыми углами сварки стойки с фитингом и тем, что твердотельные модели большинства пакетов не в полной мере отражают сварку. В реальных условиях их может и не быть.

4. Для снижения напряжений при данной нагрузке требуется установка укосин либо использование материалов с более высокой прочностью с $\sigma_T > 500$ МПа, как это делается на отдельных зарубежных моделях. Однако это значительно повышает их стоимость и не всегда оправдано. Более целесообразным представляется установка укосин либо уменьшение допустимой нагрузки до 2×50 кН и отражение этого в параметрах контейнера.

5. Анализ параметров выпускаемых за рубежом контейнеров специального назначения и опыт эксплуатации в полевых условиях показали, что обеспечение более высоких прочностных показателей (более четырех уровней штабелирования) в настоящее время нецелесообразно.

Список литературы

1. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 51876–2008 (ИСО 1496-1-96). – М., 2008. – 67 с.
2. Мишута, Д. В. Оценка напряженного состояния кузова-контейнера штабной машины при статическом нагружении согласно ГОСТ Р 51876–2008 (ИСО 1496-1-90) / Д. В. Мишута, В. Г. Михайлов // Сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике «Механика-2011», Минск, 26–28 окт. 2011 г. / ОИМ НАН Беларуси. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 16–19.
3. Сварка для анализа в про-механика: форум САПР 2000. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fsapr2000.ru/index.php?s=8e6f9d945ba22b6df48d2f80a684f37a&showtopic=50645>. – Дата доступа : 02.03.2012.

*Сведения об авторах:

Мишута Дмитрий Викторович,
Михайлов Владимир Георгиевич,
ООО «Мидивисана».

Статья поступила в редакцию 18.02.2013 г.

ОПТИМАЛЬНОЕ ВРЕМЕННОЕ СЖАТИЕ СИГНАЛОВ ПРИ РАДИОЛОКАЦИОННОМ НАБЛЮДЕНИИ ПЛОТНОЙ ГРУППЫ ЦЕЛЕЙ

УДК 621.396.96

В. В. Спесивцев*

Статья посвящена вопросам повышения разрешающей способности радиоэлектронных средств по дальности в аспекте решения проблемы радиолокационного наблюдения групповой цели в ходе ее атаки. Проиллюстрирован подход к синтезу фильтровых устройств временного сверхсжатия, основанный на критерии минимума среднеквадратического отличия отклика оптимального фильтра от идеальной «кнопочной» функции. Проанализированы зависимости характеристик сжимаемости от параметров зондирующих сигналов.

The article deals with increasing resolution in range of electronic means in terms of solving the problem of radar observation group target during its attack. Illustrated approach to the synthesis of filter devices supercompression temporary, based on the criterion of minimum mean-square difference of the optimum filter response from the ideal «keypad» function. Analysed the dependences of the compressibility characteristics of the parameters of the probing signals.

Современные вооруженные конфликты характеризуются массированным применением частей и подразделений военно-воздушных сил. Сложность боевых задач, выполняемых авиацией, в условиях ограничения возможностей отдельных летательных аппаратов, а также интенсивное огневое и радиоэлектронное противодействие противника приводят к тому, что главным способом боевого применения самолетов и вертолетов являются групповые действия. При этом могут быть использованы сомкнутый (расстояние между самолетами группы составляет десятки метров), разомкнутый (сотни метров) и рассредоточенный (несколько километров) боевые порядки.

Наиболее сложной целью для атаки управляемым ракетным оружием является группа самолетов, находящихся в сомкнутом боевом порядке. Это связано с отсутствием возможности разрешения отдельных целей из группы по любой из координат: дальности, доплеровской скорости и двум углам. Сопровождение плотной групповой цели в ходе ее атаки сопряжено с существенным возрастанием флуктуационных ошибок измерения координат, что вызывает увеличение интенсивности флуктуаций перегрузки атакующей ракеты с соответствующим возрастанием индуктивного сопротивления, уменьшением ее скорости и максимальной дальности полета [5]. Однако главной проблемой атаки групповой цели является *позднее разрешение* и связанное с этим отсутствие возможности отработки контуром самонаведения конечного промаха. С учетом разрешающей способности по угловым координатам, определяемой шириной диаграммы направленности антенны радиолокационной головки самонаведения $\theta_{0,5} \approx 10^\circ$, при расстоянии между самолетами пары по фронту $\Delta l = 100$ м расчетная дальность разрешения по угловым координатам составит $D_p \approx 570$ м, что с учетом ограничения располагаемой перегрузки ракеты явно недостаточно для отработки промаха величиной $\Delta l / 2 = 50$ м.

Увеличение дальности разрешения целей плотной группы по угловым координатам сопряжено с необходимостью сужения диаграмм направленности антенной системы, что неизбежно приводит к недопустимому увеличению ее габаритных размеров. Для улучшения разрешающей способности по доплеровской скорости требуется увеличение времени когерентного накопления принимаемого сигнала, которое ограничено наличием радиального ускорения (торможения) ракеты на траектории, а также доплеровскими флуктуациями отраженного сигнала. Наконец, улучшение разрешения по дальности требует укорочения зондирующих импульсов, что неизбежно влечет уменьшение энергии полезного сигнала с соответствующим ухудшением энергетических соотношений.

Предлагаемый новый подход к решению данной проблемы основан на совершенствовании алгоритмов цифровой обработки принимаемых сигналов, обеспечивающей максимально возможное уменьшение длительности сигнала на выходе оптимального фильтра.

Решению задачи временного сжатия сигналов посвящен ряд работ, наиболее известной фундаментальной отечественной публикацией является монография Я. Д. Ширмана [2]. В ней автор иллюстрирует связь между шириной спектра полезного сигнала и длительностью отклика оптимального фильтра, а также обосновывает некоторые приемы к решению задачи уменьшения длительности отклика, например, «высокочастотное дифференцирование». Однако интерес представляет наиболее общая постановка задачи, например, в следующей формулировке: пусть задан зондирующий сигнал, необходимо определить алгоритм цифровой обработки для минимизации длительности отклика фильтра. Развитие теории анализа и синтеза в классе дискретных конечномерных систем [1] позволяет решить задачу максимального временного сжатия (иногда применяется термин «сверхсжатие») математически строго и синтезировать алгоритм оптимального фильтра с учетом шумового воздействия.

Итак, пусть задана конечномерная модель полезного сигнала в виде нормированного вектора-столбца его дискретных отсчетов: $s = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_{r_s}]^T$; $\|s\|^2 = 1$. Здесь r_s – дискретная длительность полезного сигнала. Модель входного шума представим в виде вектора-столбца случайных некоррелированных между собой отсчетов дискретного белого гауссовского шума (ДБГШ):

$$n = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_{r_n}]^T.$$

Для корректного учета энергетических соотношений шум будем считать также нормированным к единичной энергии, усредненной по ансамблю реализаций: $\langle \|n\|^2 \rangle_n = 1$.

Для корректного решения поставленной задачи необходимо, чтобы шумовое воздействие действовало заблаговременно. Это означает, что шум должен появиться на входе устройства обработки ранее полезного сигнала на время, равное длительности импульсной характеристики фильтра, и прекратить действие только после окончания полезного отклика. В [1] показано, что условие, обеспечивающее стационарность шумового отклика во время существования отклика полезного сигнала, выполняется при дискретной длительности шума $r_n \geq 3r_s - 2$.

Будем рассматривать фильтр с размерностью импульсной характеристики h , совпадающей с размерностью полезного сигнала $r_h = r_s$, так как при $r_h < r_s$ отклик фильтра в каждый момент определяется только частью входного сигнала, а при $r_h > r_s$ реакция фильтра на сигнал размерности r_s затянута излишне. Условие $r_h = r_s$ обеспечивает участие всех отсчетов сигнала в формировании отклика, при этом размерность последнего будет равна $2r_s - 1$.

Как показано в [1], полный отклик фильтра может быть представлен как аддитивная смесь его сигнальной (y_s) и шумовой (y_n) составляющих:

$$y = y_s + y_n = \alpha F' B s \ B h + C_0 \ n \ J h, \quad (1)$$

где α – амплитуда полезного сигнала, которая при нормированных векторах s и n имеет физический смысл усредненного по множеству реализаций отношения сигнал / шум на входе устройства обработки; B – матрица «удлинения» путем дополнения нулевыми отсчетами сигнала размерности r_s до размерности $2r_s - 1$, соответствующей дискретной длительности отклика цифрового фильтра; J – единичная кроссдиагональная матрица, обеспечивающая зеркальное отражение элементов исходного вектора; $C_0 \ n$ – ганкелева матрица размерно-

стью $r_s \times 2r_s - 1$, сформированная по образующему вектору n . К примеру, для значения $r_s = 7$ она имеет вид

$$C_0 n = \begin{bmatrix} n_1 & n_2 & n_3 \\ n_2 & n_3 & n_4 \\ n_3 & n_4 & n_5 \\ n_4 & n_5 & n_6 \\ n_5 & n_6 & n_7 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Фильтром оптимального сжатия (ФОС) будем называть фильтр, обеспечивающий наименьшее (в среднеквадратическом смысле) отклонение полного нормированного выходного сигнала от идеальной «кнопочной» функции, то есть минимум функционала

$$I_{\text{ФОС}} = \left\langle \|y - \lambda L\|_n^2 \right\rangle, \quad (3)$$

где $L = BJl = 0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0^T$ – идеальная «кнопочная» функция; $l = 1 \ 0 \dots 0^T$ – вектор-столбец, соответствующий дискретно-конечномерному аналогу δ -функции; λ – нормирующий множитель, численно равный «центральному» значению отклика (отсчету вектора y в «момент» $t = r_s$).

Раскрывая скобки, функционал (4) можно представить в виде

$$I_{\text{ФОС}} = \left\langle \|y - \lambda BJl\|_n^2 \right\rangle = \left\langle \|y\|_n^2 \right\rangle - 2\lambda \left\langle y^T BJl \right\rangle + \lambda^2. \quad (4)$$

Распишем отдельно слагаемые, входящие в формулу (5):

$$\left\langle \|y\|_n^2 \right\rangle = \left\langle \|y_s + y_n\|_n^2 \right\rangle = \|y_s\|_n^2 + \left\langle 2y_s^T y_n \right\rangle + \left\langle \|y_n\|_n^2 \right\rangle. \quad (5)$$

Учитывая, что полезный сигнал и шум некоррелированы между собой, усредненное по шумам скалярное произведение $y_s^T y_n$ равно нулю. В этом случае с учетом формул (1) и (2) выражение (5) изменяется к виду

$$\begin{aligned} \left\langle \|y\|_n^2 \right\rangle &= \|y_s\|_n^2 + \left\langle \|y_n\|_n^2 \right\rangle = \alpha^2 h^T B^T F^T B_s F B_s B h + \left\langle h^T J C_0^T n C_0 n J h \right\rangle = \\ &= \alpha^2 h^T Q_0 h + h^T J \left\langle C_0^T n C_0 n \right\rangle J h = \alpha^2 h^T Q_0 h + \sigma_n^2 2r_s - 1 h^T h. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь $Q_0 = B^T F^T B_s F B_s B$ – матрица размера $r_s \times r_s$, полностью определяемая формой полезного сигнала, а $\sigma_n^2 = \left\langle n_i^2 \right\rangle_n$ – дисперсия ДБГШ, характеризующая его среднюю мощность.

Второе слагаемое выражения (4) пропорционально скалярному произведению отклика фильтра и идеальной «кнопочной» функции, которое численно равно значению отклика в его средней точке $N = r_s$:

$$y^T BJl = y_s + y_n^T BJl = \alpha h^T B_s B h + C_0 n J h^T BJl = \alpha h^T J s + h^T J n. \quad (7)$$

С учетом выражений (6) и (7) формула (4) переписывается в виде

$$I_{\text{ФОС}} = \alpha^2 h^T Q_0 h + \sigma_n^2 2r_s - 1 h^T h - 2\lambda \alpha h^T J s - 2 \left\langle h^T J n \right\rangle + \lambda^2. \quad (8)$$

Учитывая то, что входной шум представляет собой центрированный случайный процесс, некоррелированный с полезным сигналом, усредненное по множеству реализаций скалярное произведение векторов, описывающих импульсную характеристику фильтра и входной шум, равно нулю. С учетом этого выражение для функционала (8) можно представить в виде

$$I_{\text{ФОС}} = \alpha^2 h^T Q_0 h + \sigma_n^2 2r_s - 1 h^T h - 2\alpha \lambda h^T J s + \lambda^2 = h^T Q h - 2\alpha \lambda h^T J s + \lambda^2, \quad (9)$$

где $Q = \alpha^2 Q_0 + \sigma_n^2 2r_s - 1 I$.

Искомая импульсная характеристика фильтра оптимального сжатия, доставляющая минимум функционала (9), находится путем приравнивания его частной производной по вектору h к нулевому вектору:

$$\frac{\partial I_{\text{ФОС}}}{\partial h} = 2Qh - 2\alpha\lambda J_s = \emptyset;$$

$$h = \alpha\lambda Q^{-1} J_s.$$

Подставляя в данное выражение значение матриц Q , получим выражение для искомой импульсной характеристики ФОС:

$$h = \alpha\lambda \left(\alpha^2 Q_0 + \sigma_n^2 (2r_s - 1) I \right)^{-1} J_s = \sigma_n^2 \alpha \lambda \left(\frac{\alpha^2}{\sigma_n^2} Q_0 + (2r_s - 1) I \right)^{-1} J_s.$$

В силу принципа суперпозиции амплитудный множитель $\sigma_n^2 \alpha \lambda$, стоящий перед скобками, не влияет на форму отклика ФОС, и поэтому может быть опущен. Дробь $\frac{\alpha^2}{\sigma_n^2}$ имеет физический смысл отношения сигнал / шум по мощности на входе устройства цифровой обработки. Обозначив данную величину переменной q^2 , получим итоговое выражение для импульсной характеристики ФОС:

$$h = q^2 Q_0 + (2r_s - 1) I^{-1} J_s. \quad (10)$$

Сравнительный анализ формулы (10) с аналогичными выражениями для согласованного фильтра $h_{\text{СФ}} = J_s$ и фильтра максимального сжатия $h_{\text{ФМС}} = \sigma_n^2 Q_0^{-1} J_s$ [1] позволяет говорить о том, что отношение сигнал / шум определяет степень близости ФОС к согласованному фильтру (СФ) или фильтру максимального сжатия (ФМС). Действительно, при малых отношениях сигнал / шум первым слагаемым в скобках выражения (10) можно пренебречь, и данное выражение становится полностью аналогичным импульсной характеристике СФ. С другой стороны, при больших отношениях сигнал / шум, пренебрегая вторым слагаемым, получаем выражение, аналогичное импульсной характеристике ФМС. Таким образом, фильтр оптимального сжатия с импульсной характеристикой вида (10) является устройством цифровой обработки, обеспечивающим максимально возможное временное сжатие при произвольном входном отношении сигнал / шум. Сразу отметим, что недостатком, несколько ограничивающим возможность его применения, является требование контроля текущего отношения сигнал / шум на входе устройства цифровой обработки приемника.

Проиллюстрируем полученные результаты на конкретных численных примерах с использованием среды Matlab. Для моделирования в качестве полезного входного сигнала используем монохромный прямоугольный радиоимпульс длительностью 1 мкс. Численные расчеты нормированных огибающих сигнальных составляющих откликов фильтра оптимального сжатия при различных отношениях сигнал / шум представлены на рисунке 1.

Анализ результатов, представленных на графике, позволяет говорить о близости характеристик отклика сигнала к согласованному фильтру при малых отношениях сигнал / шум (практически треугольная огибающая сигнала при $q = -30$ дБ) и к фильтру максимального сжатия при больших отношениях сигнал / шум (игольчатая огибающая сигнала при $q = 30$ дБ). Применительно к рассматриваемой задаче атаки групповой цели это значит, что по мере приближения ракеты к цели, то есть с ростом входного отношения сигнал / шум, имеется возможность значительно улучшать разрешающую способность по дальности за счет применения нового алгоритма цифровой обработки. При этом длительность отклика фильтра цифровой обработки будет плавно уменьшаться: от значений, характерных для СФ, к потенциально достижимым значениям, обеспечиваемым ФМС.

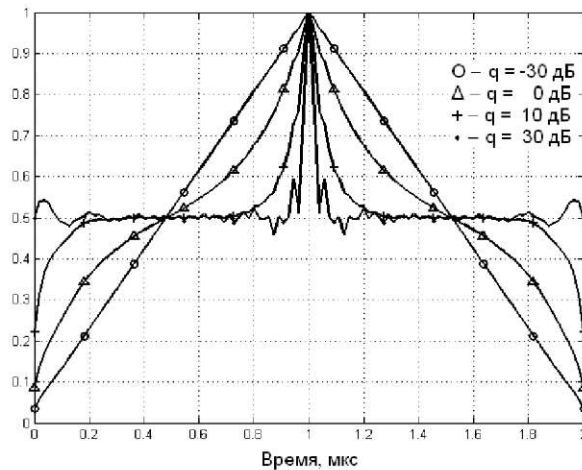


Рисунок 1 – Сигнальные огибающие откликов ФОС на прямоугольный радиоимпульс при различных отношениях сигнал / шум на входе

Представляют интерес характеристики оптимального временного сжатия сложных сигналов, которые даже без применения новых алгоритмов, только за счет согласованной фильтрации характеризуются свойством уменьшения длительности отклика по сравнению с длительностью входного сигнала. Проиллюстрируем влияние параметров такого сигнала на характеристики оптимального сжатия. Для этого в качестве полезного будем использовать ЛЧМ-сигнал с девиацией 1 МГц и различными значениями длительности. На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента сжатия, определенного как отношение длительностей отклика фильтра и входного сигнала, от длительности последнего.

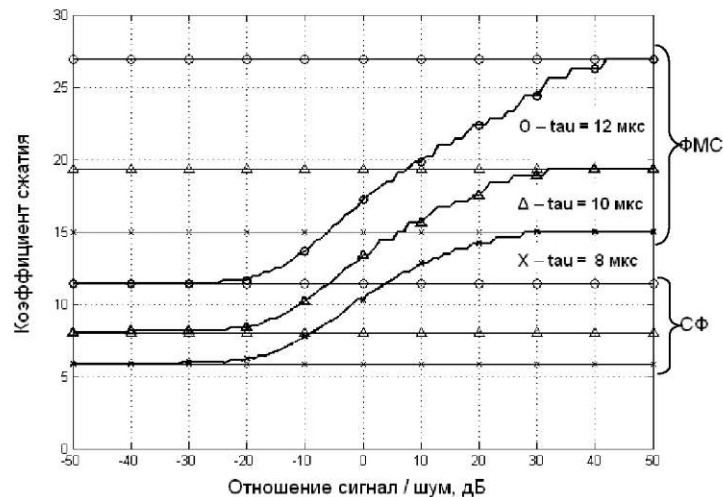


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сжатия ФОС от длительности входного ЛЧМ-сигнала

Из данного рисунка следует, что при увеличении длительности зондирующего импульса значение коэффициента при одинаковом отношении сигнал / шум растет. Во втором случае для моделирования возьмем ЛЧМ-сигнал с несколькими значениями девиации при длительности сигнала 10 мкс. Увеличение девиации также способствует росту значения коэффициента сжатия сигнала (рисунок 3), т. е. аналогично предыдущему случаю.

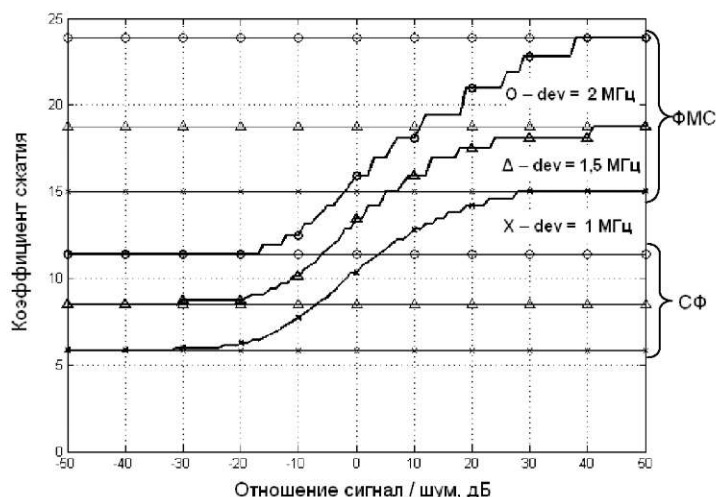


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента сжатия ФОС от девиации входного ЛЧМ-сигнала

Оценивая влияние длительности и девиации сигнала на выходной сигнал ФОС, можно сделать вывод о зависимости уровня сжатия от базы сигнала (произведение длительности сигнала и полосы частот). Тем не менее выигрыш в сжатии сигнала с увеличением базы выглядит не столь значительным. Наиболее существенного дополнительного выигрыша в сжатии следует ожидать от РЭС, использующих простые (узкополосные) сигналы.

Проиллюстрируем на рисунке 4 изменение характеристик сжатия для ЛЧМ-сигнала длительностью 10 мкс, девиацией 1 МГц и огибающей различной формы (в данном случае при изменении формы от гауссовской до прямоугольной), используя для этого коэффициент маски каузализации.

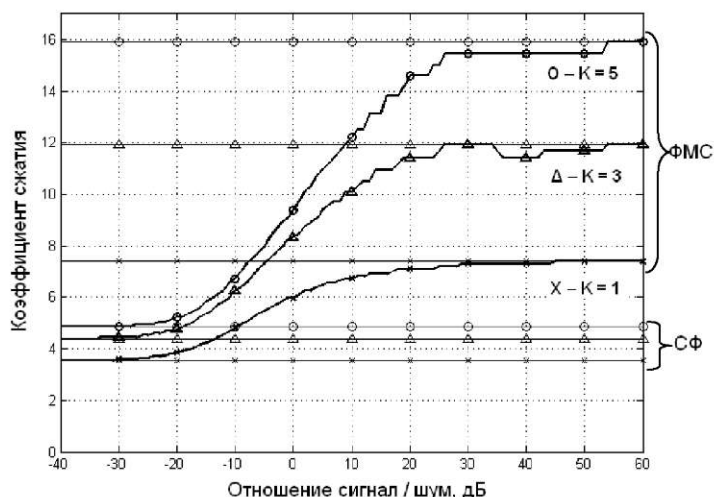


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента сжатия ФОС от формы входного ЛЧМ-сигнала

График позволяет сделать вывод о существенно лучших характеристиках по сжимаемости радиоимпульсов с прямоугольными огибающими спектра по сравнению с гауссовскими. Это объясняется наличием высокочастотных компонентов в спектре сигналов с прямоугольными огибающими, что обусловлено большой крутизной фронтов прямоугольных огибающих спектра. Именно высокочастотные компоненты спектра входного сигнала максимально усиливаются при оптимальной обработке в ФОС, что согласуется с теоретическими результатами, представленными в монографии Я. Д. Ширмана. В статье же представлены результаты, полученные экспериментально.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что увеличение отношения сигнал / шум при сближении с целью, а также использование широкополосных сигналов позво-

ляет раньше разрешить цели, летящие в группе. Кроме того, оптимальное сжатие сигналов в цифровых устройствах обеспечивается без какой-либо аппаратурной доработки каналов приема, то есть исключительно за счет совершенствования алгоритмов цифровой фильтрации. При этом существенно улучшается разрешающая способность по дальности, что может в определенных ситуациях являться решающим фактором увеличения эффективности боевого применения радиотехнической системы в целом.

Список литературы

1. Лапука, О. Г. Анализ и синтез в классе дискретных конечномерных систем: моногр. / О. Г. Лапука, К. К. Пашенко. – Минск: ВА РБ, 2010. – 372 с.
2. Ширман, Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Ширман, Я. Д. Разрешение и сжатие сигналов / Я. Д. Ширман. – М.: Сов. радио, 1974. – 360 с.
4. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. для вузов / А. Б. Сергиенко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
5. Лапука, О. Г. Оценка величины индуктивного сопротивления ракеты, вызванного маневрированием цели / О. Г. Лапука // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 2. – С. 141–146.

*Сведения об авторе:

Спесивцев Виталий Валерьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 11.03.2013 г.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА ПО ИНФОРМАЦИИ СРЕДСТВ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

УДК 629.7

Д. А. Шоманков, В. Р. Вашкевич*

В статье представлена диагностическая модель канала измерения барометрической высоты полета воздушного судна на основе алгоритмов комплексной обработки информации, регистрируемой средствами объективного контроля от нескольких датчиков, что позволяет оценивать их погрешности и выявлять основные неисправности.

In article the channel measurement diagnostic model of the aircraft barometric height is presented, on the basis of complex processing algorithms of information registered by means of the objective control from several gauges that allows to estimate their errors and to reveal the basic malfunctions.

Техническое состояние (ТС) высотомерного оборудования непосредственно влияет на безопасность полетов. Отказ в полете измерителей высоты является авиационным инцидентом (АИ), возникновение которого может привести к авиационному происшествию (АП) [1].

Типовой канал измерения барометрической высоты полета воздушного судна (ВС) состоит из системы приемников воздушных давлений (ПВД), системы воздушных сигналов (СВС) и датчика высоты (ДВ) бортового устройства регистрации параметров полета (БУР).

Статистический анализ неисправностей ПВД, СВС и ДВ представлен на рисунке 1.

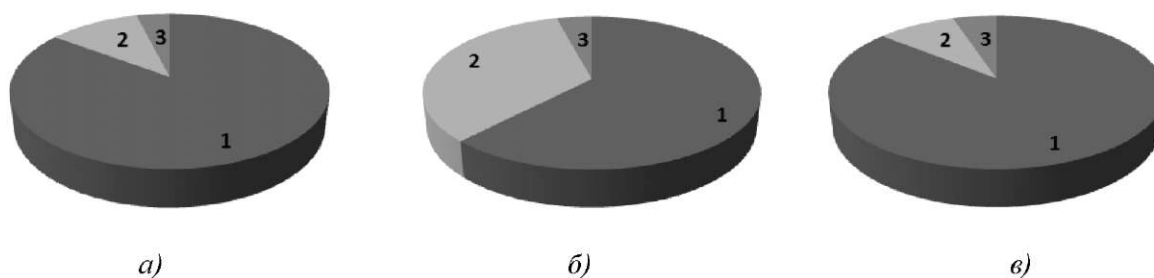


Рисунок 1 – Статистический анализ отказов и неисправностей ПВД, СВС и ДВ

На рисунке 1:

а) неисправности ПВД: 1 – увеличение запаздывания передачи статического давления по магистралям (85 %), 2 – негерметичность магистралей статического давления (11 %), 3 – другие неисправности (4 %);

б) неисправности СВС: 1 – недопустимая по величине погрешность (62 %), 2 – отказ радиоэлектронных элементов блока воздушных параметров (34 %), 3 – другие отказы (4 %);

в) неисправности ДВ: 1 – недопустимая по величине погрешность (86 %), 2 – обрыв цепи электропитания (9 %), 3 – другие неисправности (5 %).

Увеличение запаздывания передачи статического давления по магистралям ПВД происходит вследствие замерзания влаги при отказе системы обогрева, попадания мелких частиц пыли, песка или насекомых. Негерметичность магистралей статического давления происходит из-за ослабления соединений трубопроводов и влагоотстойников, перетиранья и старения резиновых рукавов и трубопроводов, ослабления крепления или разрушения герметизирующих прокладок. Данные неисправности приводят к запаздыванию передачи давления по магистралям ПВД к приборам, вследствие чего происходит занижение показаний и вялое реагирование на изменение режимов полета.

Увеличение погрешностей СВС и ДВ до недопустимых величин происходит вследствие изменения характеристик чувствительных элементов (ЧЭ), разрегулировки передаточно-множительных механизмов и негерметичности корпуса датчика статического давления.

Отказы радиоэлектронных элементов блока воздушных параметров СВС или обрыв цепи электропитания ДВ приводят к полному их отказу и прекращению регистрации высоты в бортовом устройстве регистрации параметров полета (БУР).

К другим неисправностям ПВД, СВС и ДВ отнесены неисправности, возникшие вследствие ошибок личного состава или при обстоятельствах, не связанных с технической эксплуатацией данных приборов по назначению.

В настоящее время диагностирование канала измерения высоты, способное выявить недопустимые по величине погрешности ДВ и СВС, происходит через определенные интервалы времени и предусматривает использование громоздкой контрольно-проверочной аппаратуры (КПА), разработанной и поступившей на вооружение более 30 лет назад. Например, диагностирование канала измерения высоты самолета Су-25 происходит один раз в год, а средняя трудоемкость диагностирования составляет 122,8 чел.-ч [2].

Перспективным направлением развития системы диагностирования высотомерного оборудования является разработка адаптивных и научно обоснованных алгоритмов оценки и прогнозирования ТС высотомерного оборудования на базе автоматизированных систем обработки полетной информации (АСОПИ) на основе параметров, регистрируемых средствами объективного контроля (СОК).

Таким образом, выявление основных неисправностей в межремонтный период и уменьшение трудоемкости диагностирования канала измерения высоты возможно путем реализации диагностической модели (рисунок 2) в виде программного модуля в составе применяемой в авиационных частях АСОПИ «Двина-М».

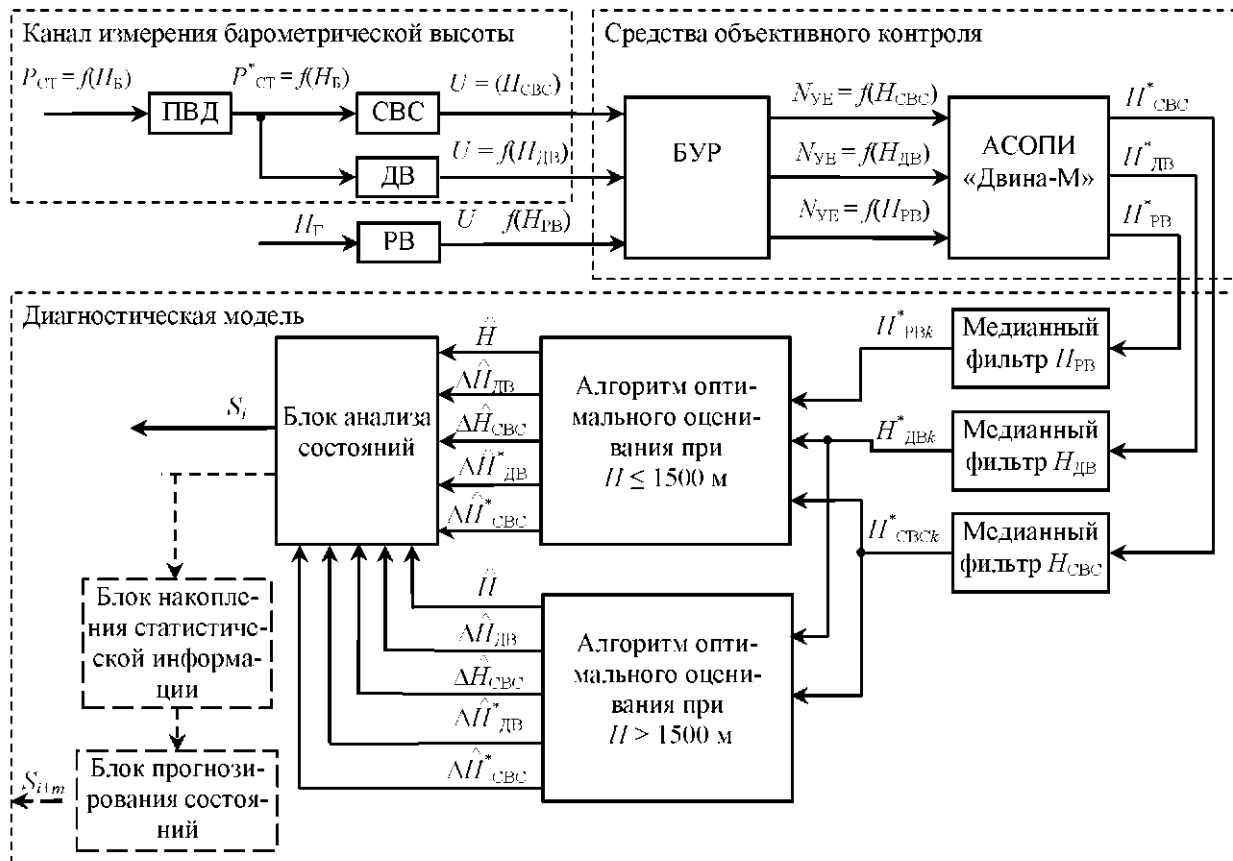


Рисунок 2 – Диагностическая модель канала измерения высоты полета ВС

Принцип действия канала измерения барометрической высоты полета основан на измерении статического атмосферного давления, находящегося в функциональной связи с высотой полета.

Статическое атмосферное давление $P_{ст} = f(H)$ непрерывно воспринимается системой ПВД, которая представляет собой непосредственно приемник и систему передачи статического давления к потребителям. По магистралям системы статического давления $P_{ст}^* = f(H)$ поступает на ЧЭ датчиков статического давления СВС и ДВ, представляющих собой блоки анероидно-мембранных коробок с механизмами обработки воспринимаемого давления в электрические сигналы.

В качестве дополнительного источника информации о высоте полета в диагностической модели используется радиовысотомер (РВ), отличающийся от СВС и ДВ физическим принципом измерения высоты полета. РВ представляет собой радиолокационную станцию непрерывного излучения. Радиосигнал из передающей антенны излучается по направлению к земной поверхности. Отраженный от земной поверхности сигнал поступает в приемную антенну. По запаздыванию отраженного сигнала относительно излученного вычисляется высота полета ВС [3].

Электрические сигналы от СВС $U = f(H_{СВС})$, ДВ $U = f(H_{ДВ})$ и РВ $U = f(H_{РВ})$, соответствующие измеренной высоте, поступают в другие системы ВС и в БУР. В БУР осуществляется регистрация измеренной высоты полета на магнитном носителе в условных единицах кода $N_{УЕ} = f(H_{СВС})$, $N_{УЕ} = f(H_{ДВ})$ и $N_{УЕ} = f(H_{РВ})$.

В АСОПИ происходит декодирование и дешифрирование зарегистрированной в БУР информации о высоте в автоматизированном режиме с получением графиков и таблиц изменения высоты в течение полета $H_{СВС}^*$, $H_{ДВ}^*$ и $H_{РВ}^*$.

Для устранения грубых сбоев, возникающих при регистрации высоты полета в БУР, значения $H_{СВС}^*$, $H_{ДВ}^*$ и $H_{РВ}^*$ поступают на соответствующие медианные фильтры.

Медианные фильтры представляют собой оконные фильтры, последовательно скользящие по массивам измеренных значений и возвращающие на каждом шаге один из элементов, попавших в окно (апертуру) фильтра. Выходные сигналы $H_{СВСk}^*$, $H_{ДВk}^*$ и $H_{РВk}^*$ скользящего медианного фильтра шириной $2n + 1$ для текущего отсчета k формируется из входного временного ряда в соответствии с выражениями [4]:

$$H_{СВСk}^* = \text{mediana}(H_{СВСk-n}^*, H_{СВСk-n+1}^*, \dots, H_{СВСk-1}^*, H_{СВСk}^*, H_{СВСk+1}^*, \dots, H_{СВСk+n-1}^*, H_{СВСk+n}^*),$$

$$H_{ДВk}^* = \text{mediana}(H_{ДВk-n}^*, H_{ДВk-n+1}^*, \dots, H_{ДВk-1}^*, H_{ДВk}^*, H_{ДВk+1}^*, \dots, H_{ДВk+n-1}^*, H_{ДВk+n}^*),$$

$$H_{РВk}^* = \text{mediana}(H_{РВk-n}^*, H_{РВk-n+1}^*, \dots, H_{РВk-1}^*, H_{РВk}^*, H_{РВk+1}^*, \dots, H_{РВk+n-1}^*, H_{РВk+n}^*).$$

Таким образом, медианная фильтрация осуществляет замену значений отсчетов в центре апертуры медианным значением исходных отсчетов внутри апертуры фильтра, что позволяет устранить неадекватные значения зарегистрированной высоты (резкие выбросы), обусловленные сбоями при регистрации в БУР.

Дальнейшая обработка информации о высоте осуществляется при помощи алгоритмов оптимального оценивания, основанных на теории калмановской фильтрации.

Диапазон измерения высоты РВ составляет от 0 до 1500 м, поэтому синтезированы два алгоритма оптимального оценивания: для высот до 1500 м (включающий в себя совместную обработку информации от ДВ, СВС и РВ) и более 1500 м (включающий в себя совместную обработку информации от ДВ и СВС).

В качестве примера рассмотрим синтез алгоритма оптимального оценивания высоты для $H \leq 1500$ м.

Математические модели наблюдения (измерения) высоты ДВ совместно с ПВД, СВС совместно с ПВД и РВ могут быть представлены, соответственно, в виде

$$\begin{aligned} z_{\text{ДВ}} &= H_{\text{ДВ}} = H + \Delta H_{\text{ДВ}}^* + \Delta H_{\text{ДВ}} + \xi_{\text{ДВ}}, \\ z_{\text{СВС}} &= H_{\text{СВС}} = H + \Delta H_{\text{СВС}}^* + \Delta H_{\text{СВС}} + \xi_{\text{СВС}}, \\ z_{\text{РВ}} &= H_{\text{РВ}} = H + \Delta H_{\text{РВ}}^* + \Delta H_{\text{РВ}} + \xi_{\text{РВ}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где H – истинное значение измеряемой высоты;

$H_{\text{ДВ}}$, $H_{\text{СВС}}$ и $H_{\text{РВ}}$ – измеренные значения высоты ДВ, СВС и РВ соответственно;

$\Delta H_{\text{ДВ}}^* = (T_{\text{ПВД}} + T_{\text{ДВ}}) \dot{H}_{\text{ДВ}}$, $\Delta H_{\text{СВС}}^* = (T_{\text{ПВД}} + T_{\text{СВС}}) \dot{H}_{\text{СВС}}$ и $\Delta H_{\text{РВ}}^* = T_{\text{РВ}} \dot{H}_{\text{РВ}}$ – динамические ошибки ДВ, СВС и РВ соответственно;

$T_{\text{ПВД}}$, $T_{\text{ДВ}}$, $T_{\text{СВС}}$ и $T_{\text{РВ}}$ – постоянные времени ПВД, ДВ, СВС и РВ соответственно;

$\Delta H_{\text{ДВ}}$, $\Delta H_{\text{СВС}}$ и $\Delta H_{\text{РВ}}$ – постоянные ошибки ДВ, СВС и РВ соответственно;

$\xi_{\text{ДВ}}$, $\xi_{\text{СВС}}$ и $\xi_{\text{РВ}}$ – флуктуационные ошибки ДВ, СВС и РВ соответственно.

Динамические ошибки ДВ и СВС обусловлены инерционностью передачи статического давления по магистралям ПВД к ЧЭ датчиков и обработкой воспринимаемого статического давления датчиками в электрические сигналы.

Динамическая ошибка РВ обусловлена внутренней обработкой информации. Постоянная времени РВ составляет примерно 0,01...0,03 с [3], поэтому динамической ошибкой РВ правомерно пренебречь.

Постоянные ошибки ДВ, СВС и РВ обусловлены соответствующими инструментальными погрешностями.

Флуктуационные ошибки ДВ и СВС обусловлены турбулентностью атмосферы и случайными вариациями фактических значений давления и температуры на высоте от их значений по стандартной атмосфере [5]. Флуктуационная ошибка РВ обусловлена как наличием собственных шумов, так и высокочастотной (в пространственном смысле) составляющей рельефа [3].

Флуктуационные ошибки ДВ, СВС и РВ при синтезе будем считать независимыми гауссовскими белыми шумами со спектральными плотностями $S_{\text{ДВ}}$, $S_{\text{СВС}}$ и $S_{\text{РВ}}$ соответственно.

Контролируемый процесс представляется в виде свободного движения линейного объекта [6]:

$$x_{i+1} + Cx_i = 0,$$

где $x_i^T = [H, \Delta H_{\text{ДВ}}, \Delta H_{\text{ДВ}}^*, \Delta H_{\text{СВС}}, \Delta H_{\text{СВС}}^*, \Delta H_{\text{РВ}}]$ – вектор состояния; C – матрица коэффициентов.

Вектор наблюдения (измерения) высоты имеет вид

$$z_{i+1} = Dx_i + \xi_{z_i},$$

где $z_i^T = [z_{\text{ДВ}}, z_{\text{СВС}}, z_{\text{РВ}}]$ – измеренные значения высоты от ДВ, СВС и РВ соответственно;

ξ_{zi} – шумовые погрешности, представляющие собой независимые белые гауссовские последовательности с матрицей интенсивностей

$$S_z = \begin{vmatrix} S_{z_{ДВ}} & 0 & 0 \\ 0 & S_{z_{СВС}} & 0 \\ 0 & 0 & S_{z_{РВ}} \end{vmatrix};$$

D – матрица коэффициентов размерности $(n-1) \times n$:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Оптимальный дискретный фильтр Калмана имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{i+1} &= A_i \hat{x}_i + K_{\Phi(i+1)}(z_{i+1} - D\hat{x}), \\ K_{\Phi(i+1)} &= R_{i+1}^{-1} D^T (D R_{i+1} D^T + S_z)^{-1}, \\ R_{i+1} &= R_i - R_i D^T (D R_i D^T + S_z)^{-1} D R_i. \end{aligned}$$

Ковариационная матрица ошибок R_i в начальный момент определяется как

$$R_i = \begin{vmatrix} \sigma_H^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\Delta H_{ДВ}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\Delta H_{ДВ}^*}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta H_{СВС}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta H_{СВС}^*}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\Delta H_{РВ}}^2 \end{vmatrix},$$

где $\sigma_H^2, \sigma_{\Delta H_{ДВ}}^2, \sigma_{\Delta H_{ДВ}^*}^2, \sigma_{\Delta H_{СВС}}^2, \sigma_{\Delta H_{СВС}^*}^2, \sigma_{\Delta H_{РВ}}^2$ – соответственно дисперсии высоты, постоянных и динамических ошибок ДВ, СВС и РВ.

Среднеквадратичные значения компонентов ковариационной матрицы ошибок R_i определяем по следующим соотношениям [7, 8]:

$$\sigma_H = 0,04 \left(\frac{H_{ДВ} + H_{СВС}}{2} \right),$$

$$\sigma_{\Delta H_{РВ}} = 0,06 H_{РВ},$$

$$\sigma_{\Delta H_{ДВ}} = 29,27 T_{H_{СВС}} \ln \frac{P_{ДВ}}{P_{ДВ} + \Delta_{ДВ}},$$

$$\sigma_{\Delta H_{\text{СВС}}} = 29,27 T_{H_{\text{СВС}}} \ln \frac{P_{\text{СВС}}}{P_{\text{СВС}} + \Delta_{\text{СВС}}},$$

где $P_{\text{ДВ}}, P_{\text{СВС}}$ – значения барометрического давления на высотах $H_{\text{ДВ}}$ и $H_{\text{СВС}}$ соответственно;
 $T_{H_{\text{ДВ}}}, T_{H_{\text{СВС}}}$ – средняя температура на высотах $H_{\text{ДВ}}$ и $H_{\text{СВС}}$ соответственно;

$\Delta_{\text{ДВ}} = \frac{D_{\text{ДВ}} \delta_{\text{ДВ}}^*}{100}$, $\Delta_{\text{СВС}} = \frac{D_{\text{СВС}} \delta_{\text{СВС}}^*}{100}$ – абсолютные погрешности тракта регистрации высоты от ДВ и СВС соответственно с учетом погрешности регистрации в БУР;

$\delta_{\text{ДВ}}^* = \sqrt{\delta_{\text{ДВ}}^2 - \delta_{\text{БУР}}^2}$, $\delta_{\text{СВС}}^* = \sqrt{\delta_{\text{СВС}}^2 + \delta_{\text{БУР}}^2}$ – относительные погрешности тракта регистрации высоты от ДВ и СВС соответственно;

$\delta_{\text{ДВ}}, \delta_{\text{СВС}}$ – относительные инструментальные погрешности ДВ и СВС соответственно;

$\delta_{\text{БУР}}$ – относительная инструментальная погрешность БУР.

Значения спектральных плотностей флуктуационных составляющих ошибок ДВ, СВС и РВ приняты постоянными со следующими значениями: $S_{\text{ДВ}} = 250 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$, $S_{\text{СВС}} = 220 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$ и $S_{\text{РВ}} = 300 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$ соответственно [9].

При достижении высоты полета ВС более 1500 м оценивание высоты, постоянных и динамических ошибок ДВ и СВС происходит по алгоритму оптимального оценивания для высоты более 1500 м, в котором отсутствует математическая модель измерения высоты от РВ (1). Оценки формируются на основе измерений ДВ и СВС.

В блоке анализа состояний диагностической модели (рисунок 2) реализованы алгоритмы формирования диагностических признаков (I_i) соответствующих состояний (S_i) канала измерения барометрической высоты. При формировании определенного признака выдается соответствующее сообщение о состоянии ПВД, СВС и ДВ в соответствии с таблицей 1.

Следует отметить, что для конкретного типа ВС алгоритмы формирования диагностических признаков могут иметь ряд особенностей и различий в соответствии с типами установленных измерительных устройств, конструктивными особенностями ВС и другими причинами.

Таблица 1 – Состояния канала измерения барометрической высоты и соответствующие им диагностические признаки

S_i	Описание контролируемого состояния		
	ПВД	ДВ	СВС
S_1	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД не превышает допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины
S_2	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД не превышает допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины
S_3	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД не превышает допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины
S_4	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД не превышает допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины
S_5	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД выше допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины

Окончание таблицы 1

S_i	Описание контролируемого состояния		
S_6	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД выше допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины
S_7	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД выше допустимой величины	Погрешность не превышает допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины
S_8	Запаздывание передачи статического давления по магистралям ПВД выше допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины	Погрешность выше допустимой величины

В соответствии с диагностической моделью (рисунок 2) были определены алгоритмы формирования диагностических признаков, соответствующих состояниям канала измерения барометрической высоты самолета Су-25 (таблицы 2 и 3).

Канал измерения барометрической высоты самолета Су-25 состоит из ПВД (изд. ПВД-18), ДВ (изд. МДД-Те-220-780), СВС (изд. СВС1-72-1ВС) и РВ (изд. А-031). Измеренные значения высоты регистрируются в БУР «Тестер-УЗ сер. 2» и дешифрируются при помощи АСОПИ «Двина-М».

Таблица 2 – Алгоритмы формирования диагностических признаков при $H \leq 1500$ м

$И_i$	Аналитическое выражение алгоритма формирования признака
$П_1$	$(\Delta H_{ДВ} < 0,059H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,052H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,08H_{СВС})$
$П_2$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,059...0,092)H_{ДВ}] \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,052H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,08H_{СВС})$
$П_3$	$(\Delta H_{ДВ} < 0,059H_{ДВ}) \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,052...0,07)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,08H_{СВС})$
$П_4$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,059...0,092)H_{ДВ}] \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,052...0,07)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,08H_{СВС})$
$П_5$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,079...0,117)H_{ДВ}] \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,064...0,087)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,08H_{СВС})$
$П_6$	$(\Delta H_{ДВ} > 0,104H_{ДВ}) \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,064...0,087)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,08H_{СВС})$
$П_7$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,079...0,117)H_{ДВ}] \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,077H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,08H_{СВС})$
$П_8$	$(\Delta H_{ДВ} > 0,117H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,087H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,09H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,08H_{СВС})$

Таблица 3 – Алгоритмы формирования диагностических признаков при $H > 1500$ м

$И_i$	Аналитическое выражение алгоритма формирования признака
$П_1$	$(\Delta H_{ДВ} < 0,078H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,069H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,12H_{СВС})$
$П_2$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,078...0,123)H_{ДВ}] \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,069H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,12H_{СВС})$
$П_3$	$(\Delta H_{ДВ} < 0,078H_{ДВ}) \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,069...0,093)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,12H_{СВС})$
$П_4$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,078...0,123)H_{ДВ}] \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,069...0,093)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} < 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} < 0,12H_{СВС})$
$П_5$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,105...0,155)H_{ДВ}] \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,085...0,115)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,12H_{СВС})$
$П_6$	$(\Delta H_{ДВ} > 0,139H_{ДВ}) \wedge [\Delta H_{СВС} = (0,085...0,115)H_{СВС}] \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,12H_{СВС})$
$П_7$	$[\Delta H_{ДВ} = (0,105...0,155)H_{ДВ}] \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,102H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,12H_{СВС})$
$П_8$	$(\Delta H_{ДВ} > 0,155H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,115H_{СВС}) \wedge (\Delta H_{ДВ} > 0,13H_{ДВ}) \wedge (\Delta H_{СВС} > 0,12H_{СВС})$

В таблицах 2 и 3: $\Delta H_{ДВ}$, $\Delta H_{ДВ}^*$, $\Delta H_{СВС}$, $\Delta H_{СВС}^*$ – оптимальные оценки постоянных и динамических ошибок ДВ и СВС соответственно.

Адекватность диагностической модели и алгоритмов формирования диагностических признаков, соответствующих основным неисправностям канала измерения барометрической высоты, подтверждаются реальными данными СОК. Проведен анализ зарегистрированных в БУР «Тестер-УЗ сер. 2» и дешифрованных АСОПИ «Двина-М» записей объективного контроля шести самолетов Су-25 в период эксплуатации с 2004 по 2012 г. Общее количество проанализированных вылетов составило 2168. Анализ проводился как исправных, так и неисправных ВС перед выполнением регламентных работ и после.

Сходимость результатов оценки технического состояния канала измерения барометрической высоты шести самолетов Су-25, полученных при обработке записей СОК в диагностической модели (рисунок 2), и результатов, полученных при инструментальном контроле с использованием штатной КПА, составила 94 %.

Таким образом, разработанная диагностическая модель способна оптимально оценивать высоту полета и выявлять основные неисправности канала измерения барометрической высоты полета ВС. Путем накопления статистической информации о характере изменения оценок погрешностей ДВ и СВС возможно прогнозирование дальнейшего их технического состояния и своевременное принятие решения о проведении на них соответствующих работ или замене на исправные. Диагностическая модель может быть адаптирована для любого типа ВС с учетом его конструктивных особенностей и тактико-технических характеристик.

Реализация диагностической модели в виде программного модуля в составе АСОПИ позволит оперативно в автоматизированном режиме осуществлять контроль технического со-

стояния канала измерения барометрической высоты после каждого вылета и существенно снизить среднюю трудоемкость ее диагностирования с 122,8 до 0,4 чел.-ч.

Список литературы

1. Берзан, А. Я. Вопросы обеспечения безопасности полетов в государственной авиации Российской Федерации / А. Я. Берзан. – М.: МАИ, 2011. – 315 с.
2. Регламент технического обслуживания № 8. Авиационное оборудование. – М.: В/ч 73855, 1987. – 150 с.
3. Крассовский, А. А. Пилотажно-навигационные комплексы / А. А. Крассовский. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1975. – 183 с.
4. Персональный сайт Давыдова А. В. [Электронный ресурс] / А. В. Давыдов. – УГТУ, 2008. – Режим доступа: <http://www.prodav.narod.ru>. – Дата доступа: 25.09.2012.
5. Бражнев, С. М. Пилотажно-навигационные комплексы / С. М. Бражнев. – Даугавпилс: ДВВАИУ, 1990. – 325 с.
6. Лебедев, А. В. Пилотажно-навигационные комплексы / А. В. Лебедев. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1985. – 279 с.
7. Применение информации бортовых регистраторов для анализа режимов и динамики полета самолетов при расследовании летных происшествий и предпосылок к ним / И. И. Мельник [и др.]. – М.: Воениздат, 1987. – 476 с.
8. Ерохин, Г. Н. Система автоматизированной обработки полетной информации «Луч-74» / Г. Н. Ерохин. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1988. – 242 с.
9. Иванов, Ю. П. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов / Ю. П. Иванов, А. Н. Сняжков, И. В. Филатов. – М.: Машиностроение, 1984. – 207 с.

*Сведения об авторах:

Шоманков Дмитрий Анатольевич,
 Вашкевич Владимир Ромуальдович,
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 02.04.2013 г.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

УДК 629.7

А. А. Шейников, Ю. В. Суходолов, А. А. Санько*

Разработаны аналитические зависимости параметров спектра напряжения генератора постоянного тока от интенсивности искрения на коллекторе. Предложена методика автоматизированной оценки качества коммутации, реализующая разработанную диагностическую модель в условиях неопределенности, установленной нормативно-техническими документами.

Analytical dependences of direct current generator spectrum pressure parameters on spark intensity on a collector are developed. The technique of automated quality switching estimation, realizing the developed fuzzy diagnostic model in the uncertainty conditions, established by technical documents, is offered.

Со времени разработки основного метода наладки дополнительных полюсов электрической машины постоянного тока (ЭМ) экспериментальным определением области безысковой работы попытки перехода от визуальной оценки уровня коммутационного искрения к инструментальной предпринимались неоднократно.

Так, в [1] при автоматической оценке интенсивности искрения предлагается использовать зависимость мощности, выделяемой под единицей длины щетки ΔP , от конструктивных параметров ЭМ и режимов ее работы:

$$\Delta P = \frac{L_s i_k^2 v_k}{2 \beta_k L_{щ}}$$

где L_s – индуктивность коммутируемой секции; i_k – поперечный ток разрезной щетки; β_k – ширина коллекторного деления; $L_{щ}$ – ширина щетки.

Согласно этой формуле, если производить регистрацию тока i_k для конкретной ЭМ, то по величине ΔP можно определить наличие и величину искрения на коллекторе. Однако для организации контроля качества коммутации такой способ предполагает изменение конструкции ЭМ в связи с использованием разрезной щетки и специально разработанного трансформатора, регистрирующего величину i_k . Кроме того, для тарировки устройства индикации искрения необходимо использование видеоканала на основе двух WEB-камер, подключенных через квадратор к компьютеру.

Разработанная в [2] математическая модель электромагнитных процессов в якорной цепи ЭМ представлена системой дифференциальных уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для параллельных ветвей и отдельных секций обмотки якоря, замкнутых на щетки. Ее использование в процессе имитационного моделирования позволяет рассчитать значения гармонических составляющих спектра тока якоря ЭМ на характерных частотах, кратных частоте вращения $f_{вр} = pn/60$ (p – число пар полюсов ЭМ; n – частота вращения якоря ЭМ), зубцовой частоте $f_{зуб} = zn/60$ (z – число зубцов якоря) и частоте коммутации $f_k = kn/60$ (k – число коллекторных пластин). Характер аналитических зависимостей амплитуд указанных гармонических составляющих A_n от величины сопротивления короткого замыкания $R_{кз}$ – экспоненциальный:

$$A_n = a \cdot \exp(bR_{кз}) + c,$$

где a, b, c – некоторые коэффициенты.

Сложности применения рассмотренной математической модели для автоматизации контроля качества коммутации связаны с необходимостью дополнительного преобразования сигнала тока якоря в напряжение в целях регистрации, а также с необходимостью построения эмпирической зависимости интенсивности искрения под щеткой от $R_{кз}$.

Таким образом, основные трудности в процессе разработки автоматизированных систем контроля возникают при формировании диагностических решающих правил. Проектирование осложняется тем, что руководящие документы (ГОСТ Р 52776-2007, ГОСТ 183–74) устанавливают визуальную оценку степени искрения путем субъективного определения класса коммутации (таблица 1), что обуславливает неоднозначность принятия решения.

Таблица 1 – Оценка степени искрения в щеточном контакте машин постоянного тока (ГОСТ 183–74)

Класс коммутации	Характеристика искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	Появление на коллекторе следов почернения, легко устранимых протиранием его поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всей щеткой, допустимое только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузке	Появление на коллекторе следов почернения, не устранимых протиранием его поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под щеткой, наличие крупных вылетающих искр. Допустимо только в момент прямого включения или реверсирования двигателя	Значительное почернение коллектора, не устранимое протиранием его поверхности бензином, а также подгар и разрушение щеток

Из таблицы 1 видно, что причинно-следственные связи между симптомами неисправностей ЭМ и их возможными диагнозами (класс коммутации) не могут быть описаны в виде четких соотношений. В таких условиях процесс автоматизированной оценки качества коммутации невозможен без использования машинных языков, способных описывать нечеткие категории, приближенные к человеческим понятиям и представлениям. Целесообразным здесь является применение лингвистических переменных [3]. Так, для построения нечеткой диагностической модели ЭМ предлагается использовать выходную лингвистическую переменную «класс коммутации». Множество ее значений $D = \{D_i\}, (i = \overline{1, 5})$ соответствует степени искрения $S = \{1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 2, 3\}$.

Пусть каждое i -е значение лингвистической переменной представляет собой пересечение нечетких подмножеств $D_i = A_i \cap B_i \cap C_i$, определенных на трех базовых шкалах (X, Y, Z) :

$$\begin{cases} D_i(s, \mu_{D_i}(s)), & s \in S, \\ A_i(x, \mu_{A_i}(x)), & x \in X, \\ B_i(y, \mu_{B_i}(y)), & y \in Y, \\ C_i(z, \mu_{C_i}(z)), & z \in Z, \end{cases}$$

где S, X, Y, Z – множества значений класса коммутации, степени развития неисправностей коллектора, степени развития неисправностей щеток и мощности искрообразования под щетками; D_i, A_i, B_i, C_i – множества значений рассмотренных параметров, соответствующих i -му значению лингвистической переменной (i -му классу коммутации); $\mu_{D_i} s, \mu_{A_i} x, \mu_{B_i} y, \mu_{C_i} z$ – функции принадлежности базовых переменных s, x, y, z нечетким множествам D_i, A_i, B_i, C_i .

Построение функций принадлежности является ключевой особенностью нечеткой модели, позволяющей применять известные и полученные аналитические зависимости для автоматизации процесса определения класса коммутации. Так, функцией принадлежности $\mu_C z$ является некая математическая функция, задающая степень или уверенность, с которой элементы некоторого множества Z принадлежат заданному нечеткому множеству C . Чем больше аргумент Z соответствует нечеткому множеству C , тем больше значение $\mu_C z$, т. е. тем ближе значение аргумента к 1. В настоящее время наиболее часто применяются следующие виды функций принадлежности: треугольные, трапециевидные, кусочно-линейные, распределения Гаусса, сигмоидные. Основанием для построения функции принадлежности служат экспертные оценки. Выделяют две группы методов построения функций принадлежности нечеткого множества по экспертным оценкам: прямые и косвенные.

В косвенных методах значения функции принадлежности выбираются таким образом, чтобы удовлетворить заранее сформулированным условиям. Экспертная информация является только исходной информацией для дальнейшей обработки. К группе данных методов можно отнести построение функций принадлежности на основе парных сравнений, с использованием статистических данных, на основе ранговых оценок и т. д. Прямые методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функции принадлежности $\mu_C z$, характеризующей элемент z . Примером прямых методов является непосредственное задание функции принадлежности таблицей, графиком или формулой. В связи с разработкой математической модели для решения задач функционального диагностирования ЭМ [4] в качестве метода построения функций принадлежности целесообразно выбрать прямой метод.

Суть выбранного подхода базируется на утверждении, что гармонический состав напряжения внешней цепи ЭМ зависит от качества коммутации в скользящем контакте. Величина гармонических составляющих спектра напряжения характеризует распределение по частотам остаточной энергии, обусловленной нарушением технического состояния элементов ЭМ [4]. Согласно [5, 6], неисправности коллектора (износ, выгорание пластин коллектора) и обмотки якоря (витковые замыкания, обрыв секций якоря) могут проявляться на частотах, кратных частоте вращения якоря (множество A значений диагностических параметров – амплитуд гармонических составляющих, кратных частоте вращения $u_{вр}$), неисправности щеток (заедание в щеткодержателе, износ, сколы) – на частотах, кратных частоте коммутации (множество B значений диагностических параметров – амплитуд гармонических составляющих, кратных частоте коммутации u_k), увеличение интенсивности искрения под щетками приводит к росту значений гармонических составляющих в диапазоне частот 20...28 кГц, определяемым временем горения искровой дуги [7] (множество C значений диагностических параметров – амплитуд гармонических составляющих $u_{искр}$ в диапазоне частот $f_{искр} = 20...28$ кГц). Так, на рисунке 1 представлены три характерных частотных диапазона спектров напряжения внешней цепи исправной ЭМ (рисунок 1, а, в, д) и ЭМ при искрении, обусловленном одновременным сколом щеток и загрязнением коллектора (рисунок 1, б, г, е).

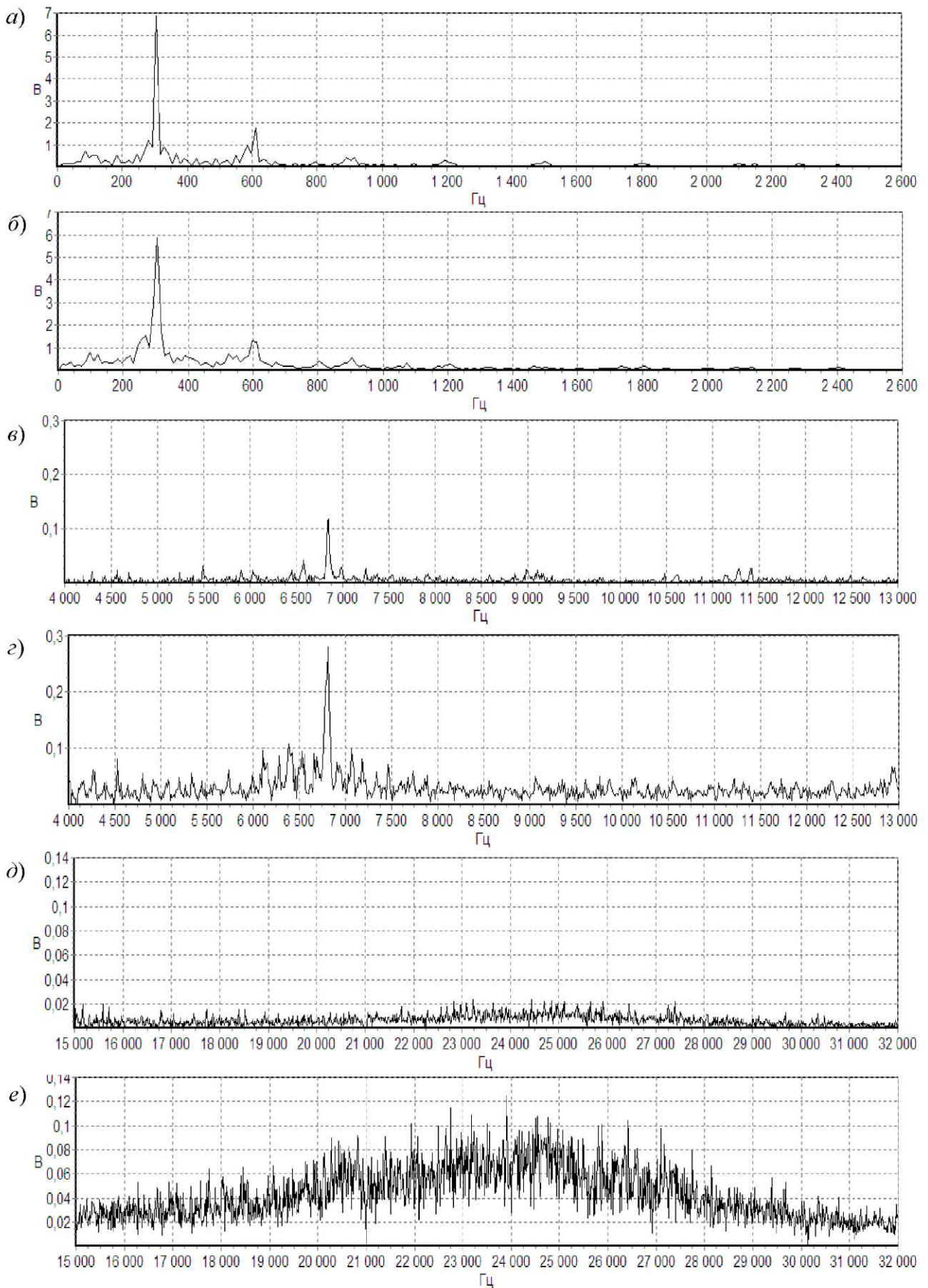


Рисунок 1 – Спектры напряжения внешней цепи ПТ-200Ц в различных диапазонах частот (частота вращения якоря ПТ-200Ц 8000 об/мин (267 Гц), частота коммутации 6800 Гц)

Значения диагностических параметров зависят от степени развития неисправностей. Так, при увеличении размера дефектов щеток (площади их сколов) наблюдается рост значения гармонической составляющей на частоте коммутации (рисунок 2).

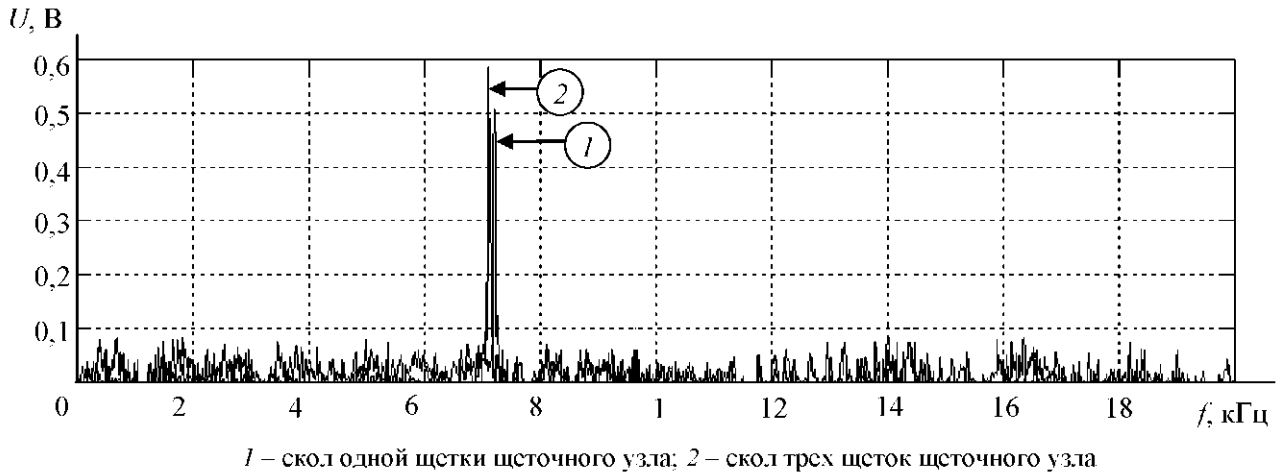


Рисунок 2 – Спектр напряжения внешней цепи авиационного стартера-генератора ГСР-СТ-12/40Д

Значения выбранных диагностических параметров можно рассчитать по следующим формулам [4]:

$$\begin{cases} u_{\text{вр}} = \frac{D_a}{2d} \left(1 - \cos\left(\frac{\pi a}{S}\right) \right) - \sqrt{\frac{\beta_k r^2 l_{\text{щ}}}{p \tau n L_c}} P, \\ u_{\text{к}} = \sqrt{\frac{\beta_k r^2 l_{\text{щ}}}{p \tau n L_c}} P - \sqrt{\frac{p \beta_k^3 r^2 l_{\text{щ}}}{a^2 \tau n L_c}} P, \\ u_{\text{искр}} = \sqrt{\frac{p \beta_k^3 r^2 l_{\text{щ}}}{a^2 \tau n L_c}} P, \end{cases} \quad (1)$$

где D_a – диаметр якоря; d – коэффициент, равный единице при четном значении S/a и двум – при нечетном; a – число параллельных ветвей обмотки якоря; S – число секций обмотки якоря; β_k – ширина коллекторного деления; r – сопротивление короткозамкнутого контура коммутируемой секции; $l_{\text{щ}}$ – длина щеток одного щеткодержателя; p – число пар полюсов; τ – протяженность полюсного деления; n – частота вращения якоря (об/с); L_c – индуктивность короткозамкнутой секции; P – удельная мощность искрообразования.

На рисунке 3 представлены расчетные зависимости значений диагностических параметров двигателя постоянного тока авиационного преобразователя ПТ-200Ц от удельной мощности искрообразования.

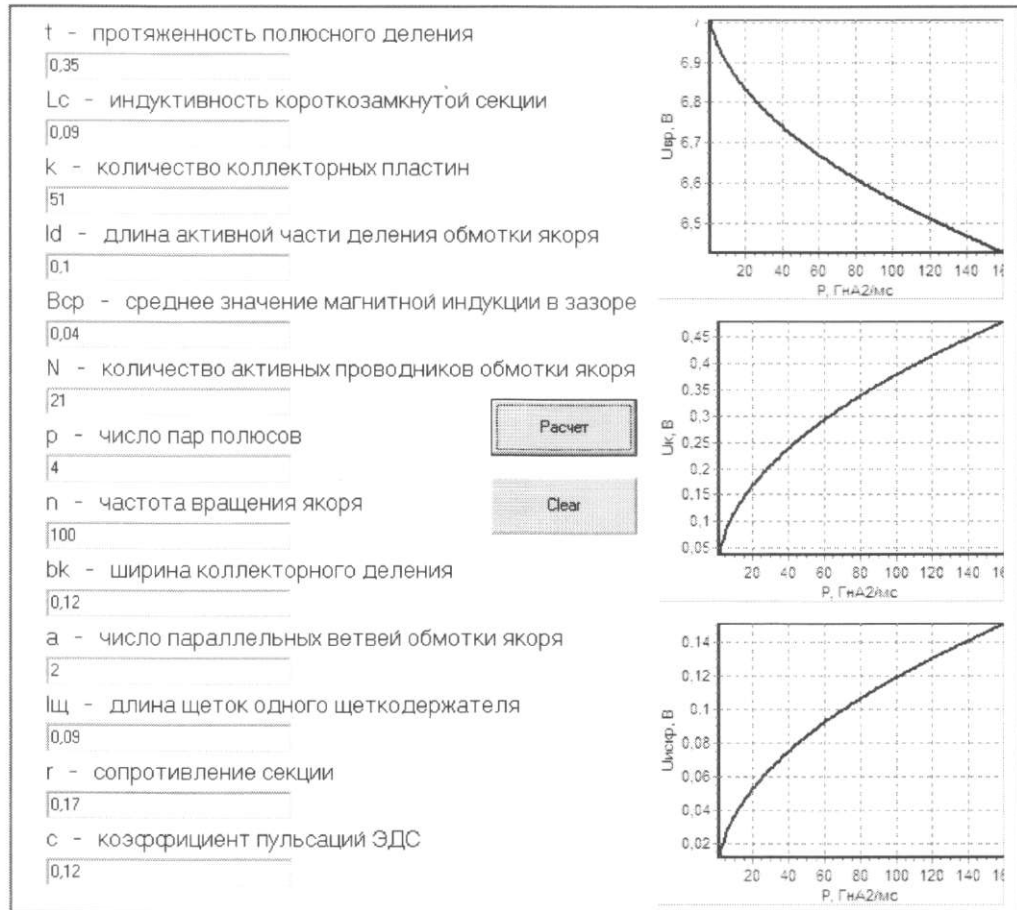


Рисунок 3 – Расчетные зависимости значений диагностических параметров от удельной мощности искрообразования (для двигателя постоянного тока авиационного преобразователя ПТ 200Ц)

Из рисунка 3 видно, что результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными (рисунок 1), что доказывает достоверность разработанной математической модели для решения задач функционального диагностирования двигателя постоянного тока ПТ-200Ц. А учитывая, что все авиационные ЭМ постоянного тока аналогичны по конструкции [8], рассмотренную математическую модель можно применять для любого электромашиного агрегата, входящего в систему электроснабжения воздушного судна. Действительно, у авиационного стартера-генератора ГСР-СТ-12/40Д длина щеток одного щеткодержателя $l_{щ}$ больше, а индуктивность короткозамкнутой секции L_c меньше, чем у двигателя постоянного тока ПТ-200Ц, следовательно, значение амплитуды гармоники на частоте коммутации u_k спектра напряжения ГСР-СТ-12/40Д при сколах щеток должно быть больше значения этой же гармоники спектра напряжения ПТ-200Ц, что подтверждается результатами экспериментов (0,6 В (см. рисунок 2); 0,3 В (см. рисунок 1, з)).

Для построения функций принадлежности целесообразно представить уравнения (1) в виде

$$\begin{cases} P = f(u_{вр}) = h(w - u_{вр})^2, \\ P = f(u_k) = gu_k^2, \\ P = f(u_{искр}) = vu_{искр}^2, \end{cases} \quad (2)$$

где $h = \frac{p\tau n L_c}{\beta_k r^2 l_{ш}}$, $w = \frac{D_a}{2d} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi a}{S} \right) \right)$, $g = \frac{a^2 p \tau n L_c}{\beta_k l_{ш} r^2 (a^2 - p^2 \beta_k^2)}$, $v = \frac{a^2 \tau n L_c}{p \beta_k^3 l_{ш} r^2}$ – коэффициенты уравнений, характеризующие конструктивные особенности ЭМ.

При моделировании необходимо учитывать, что увеличение значения мощности искрообразования P определяет тенденцию повышения класса коммутации D_i ($1 \frac{1}{2}, 2, 3$) и снижает вероятность отнесения условий коммутации к нормальным ($1, 1 \frac{1}{4}$). Очевидно, что максимальное значение мощности искрообразования P_{\max} больше всего соответствует классу коммутации (степени искрения) 3, а минимальное P_{\min} – классу коммутации 1.

Исходя из этого, логично предположить, что, например, максимальное значение диагностического параметра $u_{\text{искр}}$ соответствует классу коммутации 3 (u_{\max}), а минимальное u_{\min} – классу коммутации 1 (рисунок 4) [4].

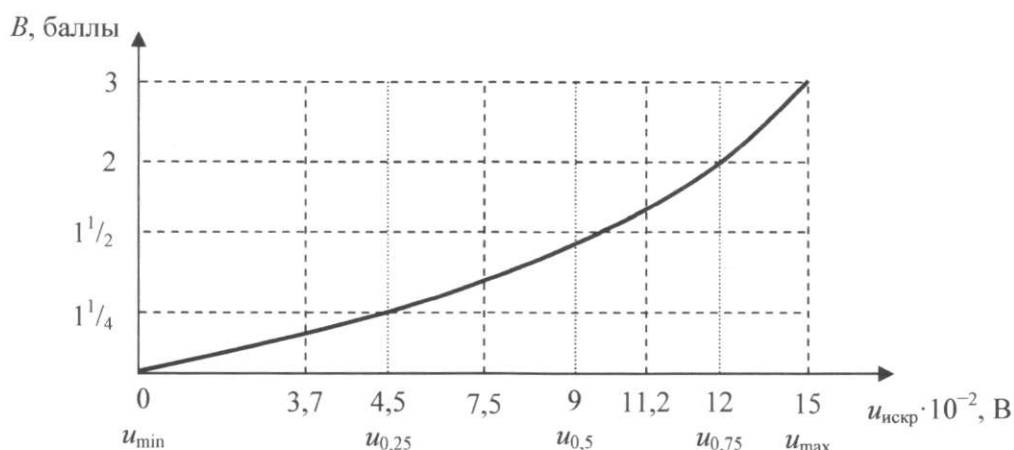


Рисунок 4 – Соответствие значений диагностического параметра классу коммутации

Входной вектор $u_{\text{искр}} = [u_1, u_2, \dots, u_N]$ (множество значений диагностического параметра) можно преобразовать в нечеткое множество C (множество значений гармонической составляющей на частоте искрения $f_{\text{искр}}$ спектра напряжения ЭМ, соответствующих классу коммутации 1), характеризуемое функцией принадлежности $\mu_C(z)$. Анализируя рисунок 1, можно с определенностью сказать, что $\mu_{C1}(u_{\min}) = 1$, а $\mu_{C1}(u_{\max}) = 0$. К аналогичным выводам можно прийти по каждому классу коммутации: $\mu_{C2}(u_{0,25}) = 1$, $\mu_{C2}(u_{\min}) = 0$, $\mu_{C2}(u_{\max}) = 0$ (класс коммутации $1 \frac{1}{4}$); $\mu_{C3}(u_{0,5}) = 1$, $\mu_{C3}(u_{\min}) = 0$, $\mu_{C3}(u_{\max}) = 0$ (класс коммутации $1 \frac{1}{2}$); $\mu_{C4}(u_{0,75}) = 1$, $\mu_{C4}(u_{\min}) = 0$, $\mu_{C4}(u_{\max}) = 0$ (класс коммутации 2); $\mu_{C5}(u_{\min}) = 0$, $\mu_{C5}(u_{\max}) = 1$ (класс коммутации 3).

Из проведенного анализа следует, что функция принадлежности $\mu_{C_i}(u)$ имеет максимальное значение в точке, наиболее соответствующей рассматриваемому i -му классу коммутации, и уменьшается при удалении от нее до нуля по расчетной зависимости. Например, для класса коммутации $1 \frac{1}{2}$ функция принадлежности $\mu_{C3}(u)$ принимает следующие значения: $\mu_{C3}(u_{0,5}) = 1$, $\mu_{C3}(u_{\min}) = 0$. По мере увеличения значения диагностического параметра в диапазоне $[u_{\min}, u_{0,5}]$ значение функции принадлежности увеличивается по закону

$$\mu_{C3}(z) = \mu_{C3}(u_{\text{искр}}) = \left(\frac{gu_{\text{искр}}}{gu_{0,5}} \right)^2 = \left(\frac{u_{\text{искр}}}{u_{0,5}} \right)^2, \quad u_{\text{искр}} \in [u_{\min}, u_{0,5}].$$

В точке $\mu_{C3}(u_{0,5}) = 1$, наиболее соответствующей рассматриваемому классу коммутации $(1 \frac{1}{2})$, функция принадлежности имеет перелом, после которого ее значения по мере увеличения значений диагностического параметра $u_{\text{искр}}$ постепенно уменьшаются до 0 в точке $\mu_{C3}(u_{\max}) = 0$, максимально соответствующей наибольшему классу коммутации 3. В диапазоне $[u_{0,5}, u_{\max}]$ значения функции принадлежности ($\mu_{C3}(u)$) уменьшаются по закону

$$\mu_{C3}(z) = \mu_{C3}(u_{\text{искр}}) = q \left(\frac{u_{\max} - u_{\text{искр}}}{u_{0,5}} \right)^2, \quad u_{\text{искр}} \in [u_{0,5}, u_{\max}],$$

где q – калибровочный коэффициент, восстанавливающий функцию принадлежности до единицы.

Таким образом, исходя из приведенных выше рассуждений, функции принадлежности $\mu_{C1}(z)$, $\mu_{C2}(z)$, $\mu_{C3}(z)$, $\mu_{C4}(z)$, $\mu_{C5}(z)$ будут иметь следующий вид (рисунок 5).

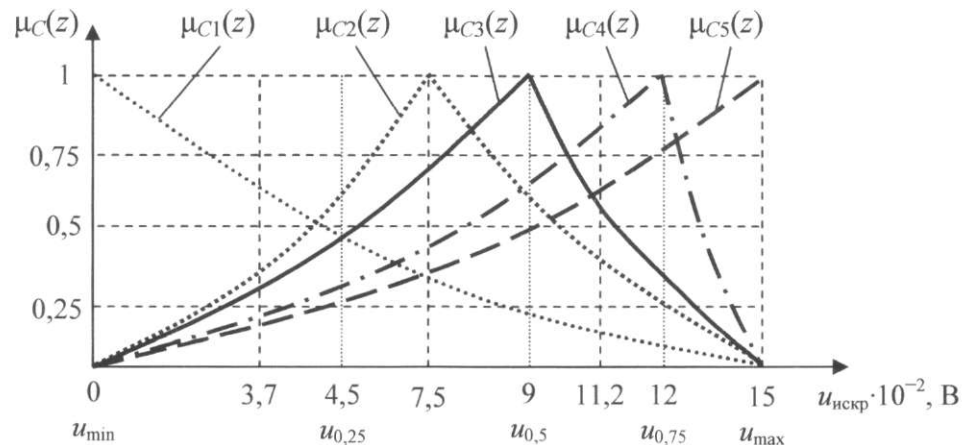


Рисунок 5 – Функция принадлежности $\mu_C(z)$

Аналогично строятся функции принадлежности и для остальных классов коммутации (рисунок 6).

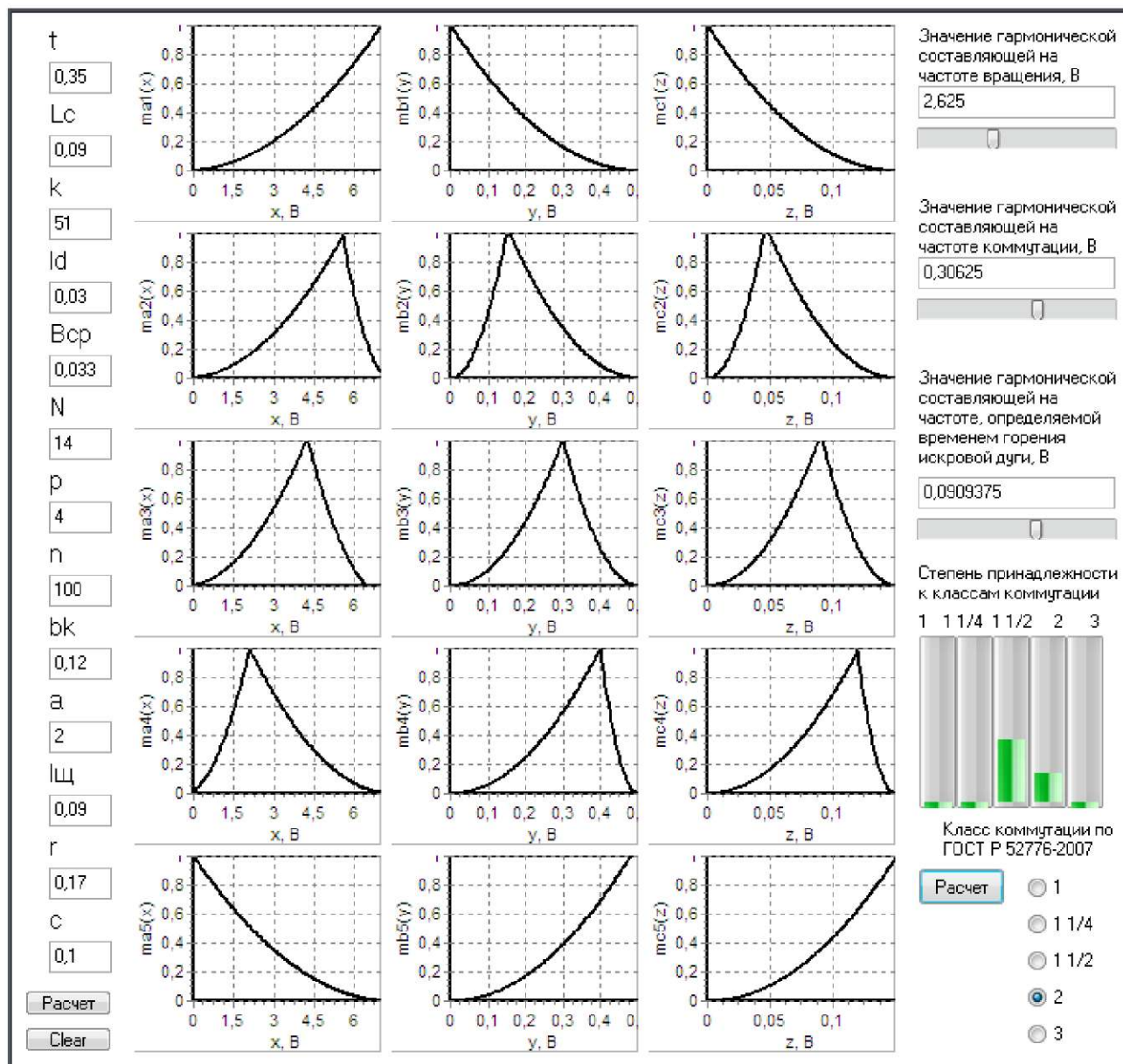


Рисунок 6 – Расчетные значения функций принадлежности для классов коммутации

Алгоритм логического вывода (обработки информации по правилам нечеткой логики) включает четыре этапа [3].

Первый этап представляет собой введение нечеткости для исходной информации (фазсификация). При этом для конкретных входных значений амплитуд гармоник на характерных частотах были рассчитаны принадлежности к отдельным значениям лингвистической переменной «класс коммутации». На основании выражений (2) получены функции принадлежности $\mu_{A_i} x$, $\mu_{B_i} y$, $\mu_{C_i} z$ для степеней искрения 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 2, 3.

Второй этап логического вывода – нечеткая импликация – представляет собой нахождение предпосылок изменения выходной функции принадлежности, создаваемых каждым отдельным правилом α_i при конкретных входных сигналах x_0 ($u_{вр} = 2,6\text{ В}$), y_0 ($u_{к} = 0,3\text{ В}$) и z_0 ($u_{искр} = 0,09\text{ В}$) (рисунок 7):

$$\alpha_i = \mu_{A_i} x_0 \cap \mu_{B_i} y_0 \cap \mu_{C_i} z_0 .$$

Результирующие функции принадлежности каждого правила можно вычислить по формуле

$$\mu_i(s) = \alpha(i) \cap \mu_{D_i}(s).$$

В качестве результирующих функций принадлежности $\mu_i(s)$ были выбраны функции треугольного вида (рисунок 7).

Третий этап логического вывода – нечеткая композиция – представляет собой нахождение результирующей функции принадлежности всей совокупности правил при заданных входных сигналах x_0, y_0, z_0 (рисунок 7):

$$\mu_{\Sigma}(s) = \mu_1(s) \cup \mu_2(s) \cup \mu_3(s) \cup \mu_4(s) \cup \mu_5(s).$$

Четвертый этап логического вывода – приведение к четкости (дефаззификация) – определение искомого значения степени искривления. Для этих целей можно воспользоваться одним из многочисленных методов перехода к точным значениям. Например, в методе максимума в качестве точного значения выводимой переменной принимается максимальное значение функции принадлежности, а в методе полной интерпретации оно вычисляется как значение «центра тяжести» s_0 фигуры под результирующей функцией принадлежности (рисунок 7):

$$s_0 = \frac{\int_D s \mu_{\Sigma}(s) ds}{\int_D \mu_{\Sigma}(s) ds}.$$

Так, применение последнего метода позволило определить класс коммутации ЭМ как 2 по ГОСТ 183–74 при заданных входных значениях диагностических параметров $u_{вр} = 2,6В$, $u_k = 0,3В$, $u_{искр} = 0,09В$ (см. рисунки 6, 7).

Таким образом, разработанная методика отличается использованием теории нечеткой логики при построении решающих правил, что позволяет обеспечить возможность автоматизации контроля искривления в щеточно-коллекторном узле по параметрам напряжения внешней цепи ЭМ с учетом нормативных требований, предполагающих субъективность оценки.

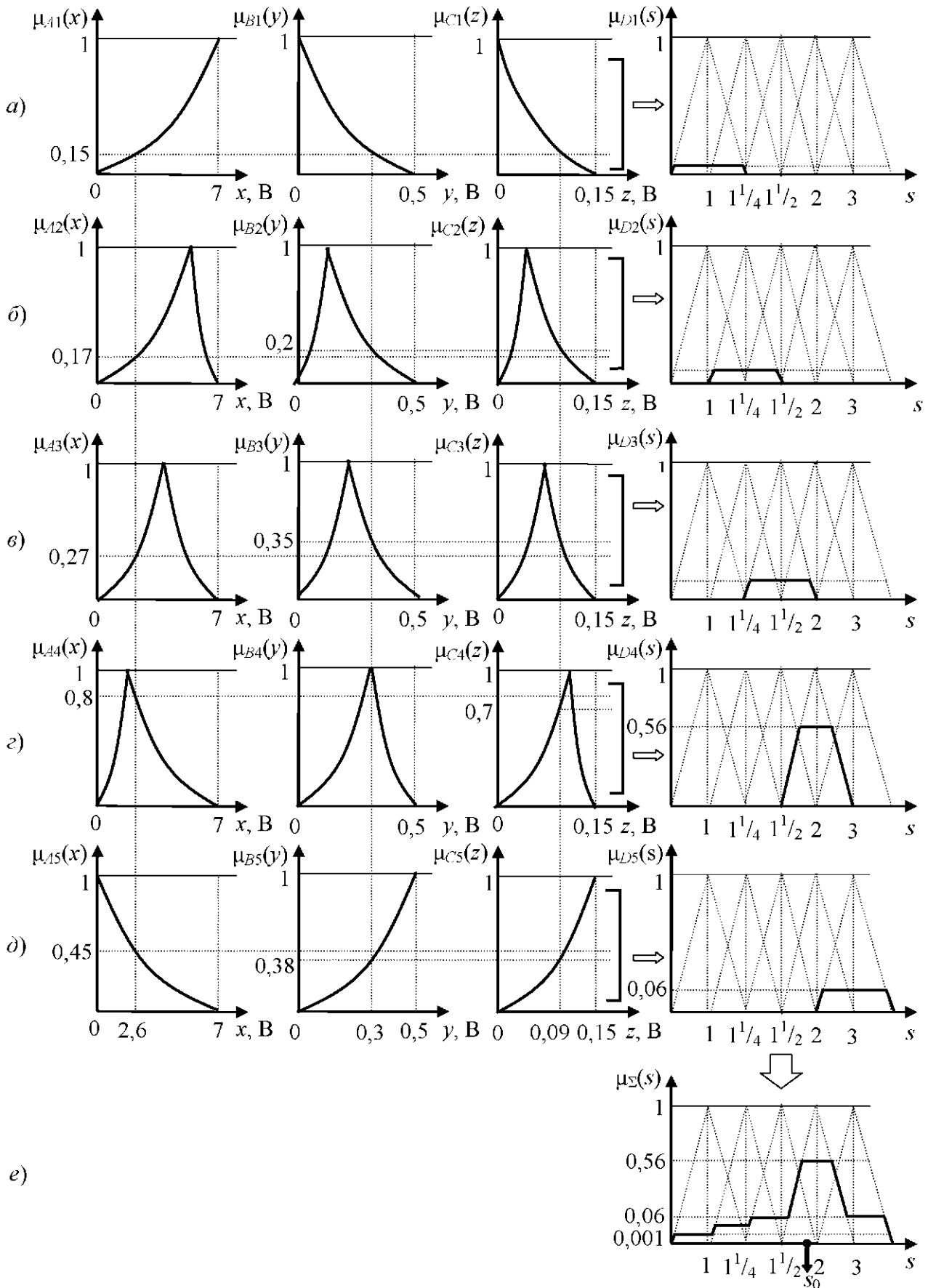


Рисунок 7 – Нахождение класса коммутации согласно требованиям ГОСТ 183–74, ГОСТ Р 52776-2007

Список литературы

1. Осадченко, А. А. Мониторинг искрения тяговых электрических машин постоянного тока: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01 / А. А. Осадченко. – Томск, 2010. – 132 л.
2. Ивченков, Н. В. Математическое моделирование неисправностей щеточно-коллекторного узла машины постоянного тока / Н. В. Ивченков // Вестн. КДПУ им. Михаила Остроградского. – 2009. – № 4. – С. 119–121.
3. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Шейников, А. А. Спектральная оценка качества коммутации коллекторных электрических машин постоянного тока / А. А. Шейников, Ю. В. Суходолов, В. Р. Вашкевич // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 2. – С. 103–108.
5. Способ диагностики коллекторной электрической машины постоянного тока: пат. 16297 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 R 31/02, G 01 R 31/34 / А. А. Шейников, А. А. Санько, В. Р. Вашкевич, А. А. Цанава, Д. В. Морозов; заявитель Воен. акад. Респ. Беларусь. – № а 20101157; заявл. 29.07.10; опубл. 28.05.12.
6. Шейников, А. А. Диагностика коллекторных электрических машин по параметрам входного (выходного) напряжения / А. А. Шейников, В. Р. Вашкевич, А. А. Санько // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 4. – С. 96–102.
7. Карасев, М. Ф. Коммутация коллекторных машин постоянного тока / М. Ф. Карасев. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 224 с.
8. Коваленко, В. Е. Справочник по авиационному оборудованию / В. Е. Коваленко, В. А. Кузнецов, В. И. Курдыбах. – М.: Воениздат, 1972. – 550 с.

*Сведения об авторах:

Шейников Алексей Александрович,

Суходолов Юрий Викторович,

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Санько Андрей Анатольевич,

УО «Минский государственный высший авиационный колледж».

Статья поступила в редакцию 20.09.2012 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

УДК 621.21

А. С. Шалумов, В. М. Ивашко, А. Н. Мацкевич,
Е. Ю. Тихонова, А. В. Ларкин

В статье рассмотрены основные возможности системы автоматического проектирования АСОНИКА по анализу объемных конструкций радиоэлектронных средств и печатных узлов на механические и тепловые воздействия, приведены результаты моделирования механических и тепловых процессов в тестовом блоке радиоэлектронного средства и печатной плате, выработаны рекомендации по применению системы АСОНИКА.

In article the automated design engineering system ASONIKA main capabilities to test electronics and circuit boards by mechanical and thermal effects are considered, the results of the mechanical and thermal processes in electronics and circuit boards modeling are carried out and recommendations of ASONIKA application are worked out.

В настоящее время при разработке радиоэлектронных средств (РЭС) большое внимание уделяется надежно-ориентированному проектированию, когда почти в каждой проектной работе рассматривается влияние ее результатов на показатели надежности. При этом важная роль отводится именно математическому моделированию протекающих в изделии физических процессов (электрических, тепловых, аэродинамических, механических и др.), определяющих во многом их надежность.

Ввиду затруднительности практической реализации испытаний на определенные внешние воздействия, а также в целях уменьшения материальных затрат и повышения надежности аппаратуры на этапе конструкторской разработки при проведении как предварительных, так и государственных испытаний целесообразно в комплексе с натурными испытаниями применять средства математического моделирования [1].

Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА предназначена для анализа и обеспечения стойкости радиоэлектронных средств к комплексным тепловым и механическим воздействиям. Данная система автоматического проектирования (САПР) позволяет создать виртуальные условия для проведения испытаний и оценить результат воздействия следующих дестабилизирующих факторов: тепловых, механических (гармоническая и случайная вибрации, ударные нагрузки, линейное ускорение, воздействие акустических шумов), радиационных, электромагнитных и др.

САПР АСОНИКА имеет модульную структуру и включает ряд подсистем:

анализа объемных конструкций РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М;

анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах, АСОНИКА-В;

анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т;

анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ;

автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ) АСОНИКА-Р;

анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б;

справочную базу данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам АСОНИКА-БД;

управления моделированием РЭС при проектировании АСОНИКА-УМ.

Необходимо отметить, что данная система позволяет проводить моделирование как объемных конструкций РЭС, так и отдельных печатных узлов на внешние тепловые и механические воздействия. При этом реализуются комплексное моделирование и расчет РЭС от несущих конструкций верхнего уровня до отдельных ЭРИ печатных узлов.

Структура САПР АСОНИКА приведена на рисунке 1.

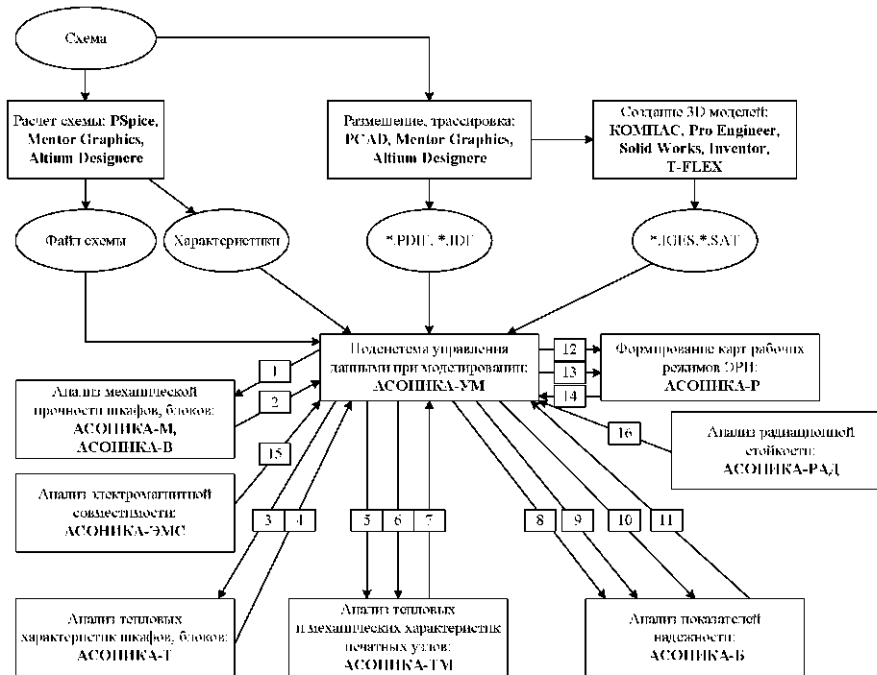


Рисунок 1 – Структура взаимодействия подсистем комплекса АСОНИКА

С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме АСОНИКА-УМ и передается в виде файла в системы анализа электрических схем PSpice, Mentor Graphics и Altium Designere и в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, Mentor Graphics и Altium Designere. Выходные файлы системы PCAD в формате *.PDIF и Mentor Graphics и Altium Designere в формате *.IDF сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ, а также передаются в системы AutoCad, КОМПАС, Pro Engineer, Solid Works, Inventor, T-FLEX для создания чертежей и сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ. В подсистему АСОНИКА-УМ также передаются 3D модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС, Pro Engineer, Solid Works, Inventor, T-FLEX в форматах *.IGES и *.SAT, которые передаются из нее в подсистемы АСОНИКА-М и АСОНИКА-В (1) для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, в подсистему АСОНИКА-Т (3) для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках РЭС.

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (2, 4). Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах *.PDIF и *.IDF передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему АСОНИКА-ТМ (5) для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ. Кроме того, из подсистемы АСОНИКА-Т передаются температуры воздуха в узлах, а из подсистемы АСОНИКА-М – ускорения опор (6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (7). Перечень ЭРИ (8), файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (9), температурами и ускорениями ЭРИ (10), результаты электромагнитного (15) и радиационного (16) анализа, полученные в подсистемах АСОНИКА-ЭМС и АСОНИКА-РАД, передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему анализа показателей надежности РЭС АСОНИКА-Б. Показатели надежности РЭС сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (11). Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (12),

температурами и ускорениями ЭРИ (13) передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р. Сформированные карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (14) [2].

Интеграция программных продуктов позволяет осуществить сквозное автоматизированное проектирование радиоэлектронной аппаратуры на основе комплексного моделирования физических процессов. При их внедрении достигается достаточно быстрая скорость решения задач моделирования и значительная экономия материальных средств за счет сокращения количества испытаний [2]. Необходимо отметить, что каждая из подсистем (АСОНИКА-М, АСОНИКА-В, АСОНИКА-Т, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-Б, АСОНИКА-Р) может применяться самостоятельно для решения конкретных задач.

В качестве тестового образца блока радиоэлектронного средства для проведения моделирования тепловых и механических воздействий в системе АСОНИКА был выбран блок датчика горизонта (БДГ) (рисунок 2).

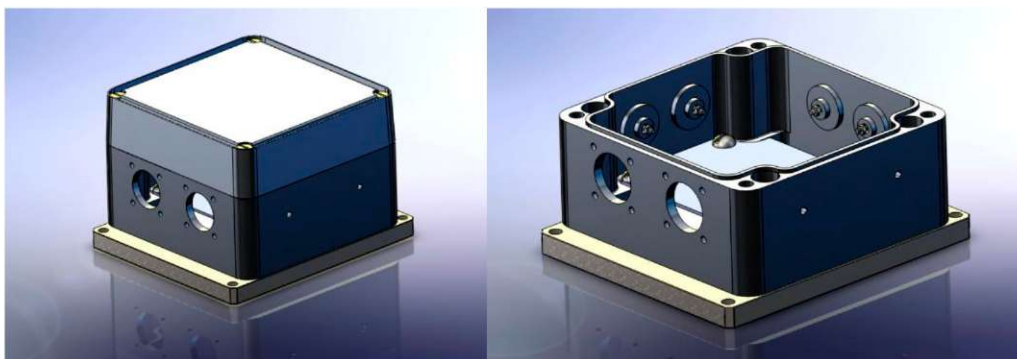


Рисунок 2 – Объемная модель блока датчиков горизонта

Предприятием-изготовителем были предоставлены следующие исходные данные: сборочный чертеж и эскизы БДГ (файлы системы AutoCad); файлы печатного узла в системе PCAD; перечень элементов; требования к механическим и климатическим воздействиям в соответствии с ГОСТ РВ-20.39.304-98 (таблица 1) [3].

Предоставленный блок состоит из основания, корпуса и крышки. Печатный узел расположен внутри корпуса и прикреплен к нему с помощью четырех винтов. Крепление корпуса к основанию и крышки к корпусу также осуществляется винтами.

Для определения механических характеристик блока РЭС использовались подсистемы анализа объемных конструкций радиоэлектронных средств на механические воздействия АСОНИКА-М и АСОНИКА-М2; для определения тепловых характеристик – подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т; для определения механических и тепловых характеристик печатного узла – подсистема анализа конструкций печатных узлов радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ. Также использована справочная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надежности параметрам АСОНИКА-БД. В базу данных в соответствии со спецификацией на печатный узел были внесены данные о необходимых элементах.

В результате моделирования механических процессов в блоке БДГ при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударов, линейных ускорений были получены ускорения, перемещения и напряжения в конструкции тестового блока. Например, в результате моделирования при заданной синусоидальной гармонической вибрации получены амплитудно-частотные характеристики в точке максимума по осям X , Y , Z , поле эквивалентных напряжений (рисунок 3).

Таблица 1 – Параметры внешних воздействий

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение, заданное при моделировании
Механические воздействия		
Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, g	2g
	Диапазон частот, Гц	1–200
Случайная широкополосная вибрация	Спектральная плотность виброускорения, g ² /Гц	0,05
	Диапазон частот, Гц	10–2000
Механический удар одиночного действия	Пиковое ударное ускорение, g	100g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Механический удар многократного действия	Пиковое ударное ускорение, g	10g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Линейное ускорение	Ускорение, g	150g
	Длительность действия линейного ускорения, мс	100
Тепловое воздействие		
Повышенная рабочая температура среды, °С		+65
Рабочая температура среды, °С		+25
Пониженная рабочая температура среды, °С		–30

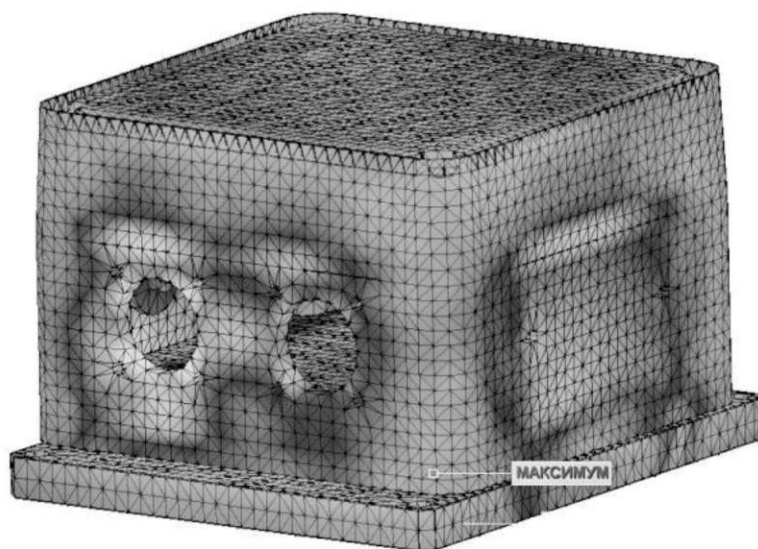


Рисунок 3 – Поле эквивалентных напряжений при гармонической вибрации

В целом расчет механических режимов блока, проведенный с помощью подсистемы АСОНИКА-М2, выявил, что резонансы при гармонической вибрации отсутствуют, механические напряжения при всех механических воздействиях не превышают допустимые значения [3].

В целом конструкция достаточно жесткая. Можно считать, что в места крепления платы воздействия передаются один к одному. Поэтому при расчетах механических процессов печатного узла в АСОНИКА-ТМ можно использовать параметры механических воздействий, которые были заданы для блока в целом.

В результате моделирования тепловых процессов в блоке при различных температурах окружающей среды получены температуры в узлах тепловой топологической модели блока, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Температура в узлах тепловой модели блока при различной температуре окружающей среды

Узел тепловой модели	Повышенная рабочая температура, °С	Рабочая температура, °С	Пониженная рабочая температура, °С
Окружающая среда	+65	+25	-30
Левая стенка корпуса	+67,7	+28	-26,8
Верхняя стенка корпуса	+67,6	+27,9	-26,8
Передняя стенка корпуса	+67,7	+28	-26,8
Нижняя стенка корпуса	+67,7	+28	-26,8
Задняя стенка корпуса	+67,7	+28	-26,8
Правая стенка корпуса	+67,7	+28	-26,8
Печатный узел	+74,2	+35,6	-18
Воздух внутри блока	+70,3	+30,9	-23,6

Анализ результатов моделирования тестируемого блока на тепловые воздействия показал, что при нагревании блока с суммарной мощностью тепловыделения ЭРИ печатного узла до 1 Вт температура корпуса повышается примерно на 2–4 °С, температура воздуха внутри корпуса – примерно на 5–6 °С, температура печатного узла – примерно на 9–11 °С относительно температуры окружающей среды.

Полученные температуры в узлах 7 и 8 (печатный узел и воздух внутри корпуса) тепловой топологической модели блока использованы в качестве исходных данных для моделирования тепловых процессов в печатном узле в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

Модель печатного узла в подсистеме АСОНИКА-ТМ представлена на рисунке 4.

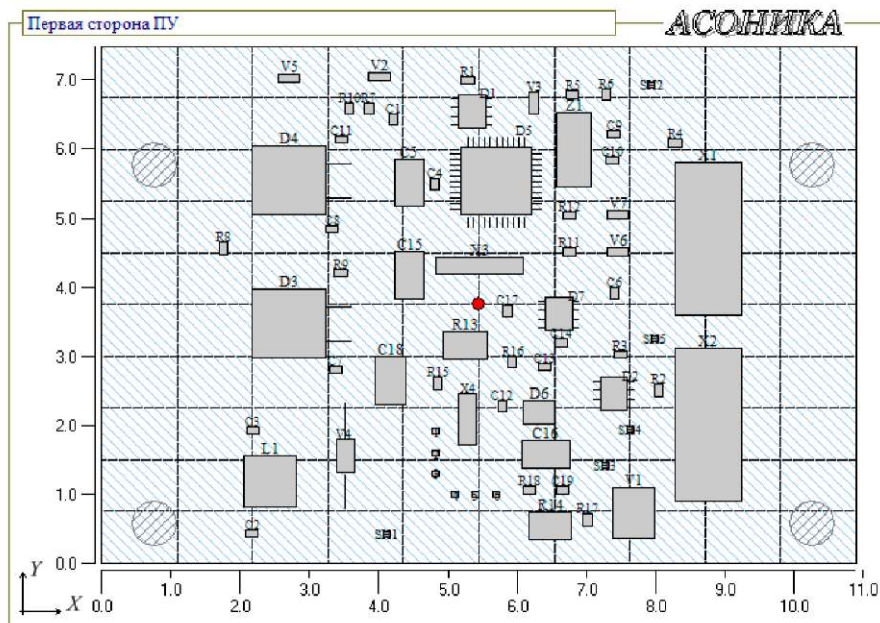
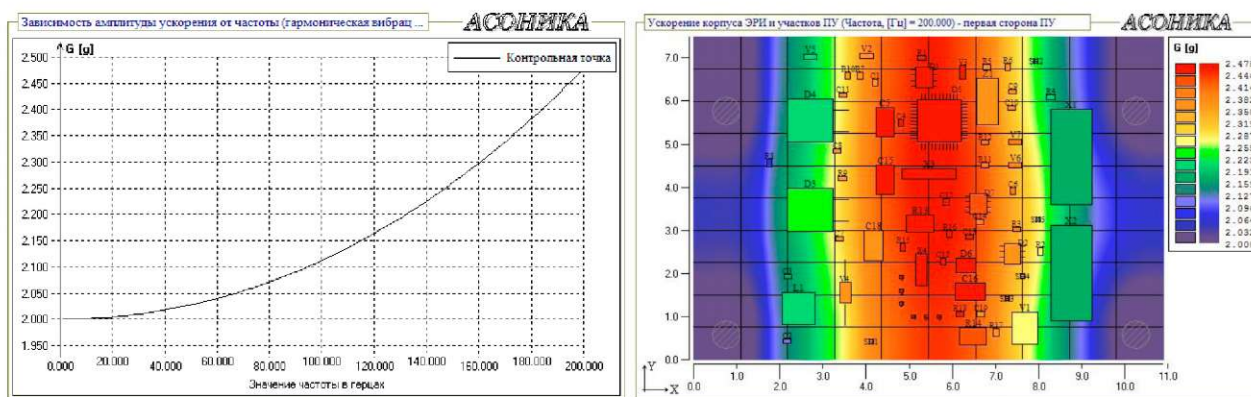


Рисунок 4 – Плоское изображение печатного узла

В результате моделирования печатного узла при воздействии заданной синусоидальной гармонической вибрации получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от частоты (рисунок 5, а), поле ускорений на заданной частоте (рисунок 5, б), карта механических режимов ЭРИ (таблица 3).



а

б

Рисунок 5 – График зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от частоты (а) и поле ускорений на заданной частоте (б) при гармонической вибрации

Таблица 3 – Карта механических режимов работы ЭРИ

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Частота, Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	200,00	2,429	40,000	0,061	–
2	D4	1	200,00	2,218	40,000	0,055	–
3	R12	1	200,00	2,389	40,000	0,060	–
4	R11	1	200,00	2,392	40,000	0,060	–
5	R10	1	200,00	2,362	40,000	0,059	–
6	R17	1	200,00	2,376	40,000	0,059	–
7	R16	1	200,00	2,473	40,000	0,062	–
...
34	C5	1	200,00	2,451	40,000	0,061	–

Рассматриваемая САПР АСОНИКА применяется на всех стадиях проектирования современных РЭС и позволяет предотвращать возможные отказы при эксплуатации на ранних этапах проектирования; сокращать сроки и затраты на проектирование; обеспечивать безопасность человека при проведении испытаний (например, полеты на самолетах (предотвращение авиакатастроф) за счет комплексного автоматизированного анализа систем на основе созданной электронной модели при всех видах внешних дестабилизирующих факторах, в том числе в критических режимах; автоматизировать документооборот и создание электронной модели РЭС в рамках CALS-технологий.

Таким образом, использование САПР АСОНИКА позволяет на основе компьютерного моделирования прогнозировать состояние РЭС в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов (тепловых, механических и др.) и в критических режимах эксплуатации; оценить соответствие образца РЭС предъявляемым требованиям по устойчивости к внешним дестабилизирующим факторам как на этапе разработки, так и при испытании готового образца РЭС.

Система АСОНИКА также может быть использована для проведения консалтинга, позволяя давать квалифицированное заключение о соответствии электрических, тепловых, механических, электромагнитных и других характеристик аппаратуры требуемым нормам.

Замена реальных испытаний компьютерным моделированием как на стадии проектирования, так и на стадии приемки в условиях жестких климатических и механических воздействий позволяет значительно снизить временные и материальные затраты на разработку высоконадежных РЭС и ввод их в эксплуатацию.

Список литературы

1. Обоснование назначения, состава центра испытаний ВВСТ военного назначения и решаемых им задач: отчет о НИР (промежут.) / УО «ВАРБ»; рук. темы В. М. Ивашко. – Минск, 2011. – 100 с.
2. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий / А. С. Шалумов [и др.]; под ред. Ю. Н. Кофанова, Н. В. Малютина, А. С. Шалумова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.
3. Моделирование радиоэлектронных средств с использованием системы автоматического проектирования АСОНИКА: отчет о НИР (заключ.) / УО «ВАРБ»; рук. темы А. Н. Мацкевич. – Минск, 2012. – 115 с.

*Сведения об авторах:

Шалумов Александр Славович,

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Владимирский филиал);

Ивашко Владимир Михайлович,

Мацкевич Артур Николаевич,

Тихонова Екатерина Юрьевна,

Ларкин Антон Владимирович

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 13.01.2013 г.

3. ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

ИСТОРИКО-СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ОСНОВНЫХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 9С

Б. Б. Жутдиев*

Современная общественно-политическая ситуация выдвигает определенную проблематику осмысления советского наследия во всем многообразии его исторических особенностей. Это наиболее актуально в связи с определенными изменениями в различных аспектах постсоветской цивилизации с момента обретения независимости бывшими республиками Советского Союза.

Contemporary social and political situation creates certain challenges for historical understanding of Soviet heritage in its entire complexity. It is of special importance in connection with certain changes in various aspects of post-Soviet civilization starting with gaining of independence by the former republics of the USSR.

В настоящее время в мире параллельно с глобализацией происходят процессы регионализации, укрупнения экономических, социокультурных, информационных пространств.

Интеграционные процессы играют важнейшую роль в появлении и развитии социальных общностей: этносов, народов, различных видов государственных образований и их производных. Этноты представляют собой интегрированные друг с другом рода; народ является результатом интеграции различных этносов и способен в свою очередь образовать более сложные социальные конструкции. Но далеко не все этноты могут интегрироваться в единый народ и образовать стабильное сильное государство, в этом и заключается проблема интеграционных процессов.

Исторически первой формой интеграции государств была империя. В Средние века с учетом появления новых государств, при условии их различного правового и политического статуса на международной арене, появились такие формы объединений государств, как сюзеренитет и протекторат. Все эти формы государственных объединений отошли в прошлое с возникновением в эпоху модерна таких принципов международного права, как суверенное равенство государств, невмешательство во внутренние дела, сотрудничество между государствами, равноправие и право народов распоряжаться своей судьбой.

Интеграция (от лат. *integratio* – восстановление, восполнение целого) означает сращивание частей и функций системы в целом, а также процесс, ведущий к такому состоянию. Понятие «интеграция» означает некую целостность, структуру, совершенствование. В этом смысле оно применяется в естественных науках. Переноса это понятие в сферу общественных отношений, теоретики международных отношений имеют в виду образование социальных общностей [4, с. 5].

В теории международных отношений (ТМО) интеграция представляет собой процесс сближения, соединения, взаимопроникновения в основном региональных экономик государств и их политических систем. Полной интеграцией в международных отношениях называют экономическую интеграцию, дополненную политической. В данном случае для «соединительных» процессов необходимо принятие самостоятельных решений суверенных государств на политическом уровне и в экономике, и в политике.

Вестфальский мир 1648 года, ознаменовавший конец кровавых религиозных войн в Европе и имевший своей целью стабилизацию политического порядка в европейских государствах, оформил современную международную систему, базирующуюся на концепции государственного суверенитета. С тех пор основным и первичным субъектом международного права является национальное государство. Помимо первичных субъектов в международ-

ном праве существуют и производные субъекты, которые создаются первичными субъектами, то есть национальными государствами. К ним относятся международные межправительственные организации [4, с. 12]. С XX века на международной арене также появился новый наднациональный субъект международных отношений – Европейский союз. Образование подобных социальных общностей является результатом интеграционных процессов между национальными государствами.

Теоретические парадигмы международных отношений имеют различные базовые категории. Так, политический реализм главным актором международных отношений рассматривает национальные государства и союзы; либеральный идеализм признает плюрализм актором международных отношений; радикализм представляет основными действующими лицами международных отношений социальные классы, и далее в неомарксизме окончательное развитие международных отношений выливается в антагонизм богатого региона Севера и бедного региона Юга, двух классов, различающихся по экономическому признаку; постмодернизм утверждает международным актором радикальный плюрализм, вытекающий из нашего познания мира (интерсубъективность).

Тем не менее все эти подходы основаны на главенстве принципов международного права, где основным субъектом является национальное государство. Национальное государство является продуктом эпохи модерна и западноевропейской модели буржуазного общества, искусственным конструктом, нивелирующим культурные особенности обществ, оно носит тотально-правовой характер. Данные особенности национального государства происходят из социологического нормативизма, концепции «естественного права» и «прав человека», из либерально-идеалистического взгляда на общество, на которых основано международное право.

Теоретические подходы к международным отношениям, базирующиеся на принципах международного права, оказывают определенное влияние на характер интеграционных объединений, берут за базу интеграции либерально-капиталистические ценности, идеологически и культурно ограничивающие их, не позволяющие полностью раскрыть их потенциал. Для данных подходов не свойственно концентрирование на социальном, культурном компоненте интеграционных процессов, так как они базируются на интеграции свободных от социальных ценностей, культуры акторах. Более того, механизм международного права, основанный на концепции «прав человека», работающий на базе ООН с момента окончания Второй мировой войны ради исключения конфликтов между государствами, является предметом войн и идеологического противостояния между народами [4, с. 14].

Помимо уже упомянутых теоретических подходов существует еще одно направление в международных отношениях – социология международных отношений (СМО). Данное направление не привержено к какой-либо парадигме. Его особенность в том, что, в отличие от наиболее распространенных парадигм современной науки о международных отношениях, в нем подчеркивается «значимость в мировой политике не столько национальных интересов, сколько ценностей, норм, идентичностей, культурных особенностей, традиций, идей» [2, с. 10]. Но несмотря на свой потенциал и явный сдвиг в теории относительно концентрирующихся на национальных интересах классических парадигм ТМО, социология международных отношений пока еще окончательно не разработала подход, преодолевающий «дуализм внутреннего и внешнего, системы и среды, микро- и макроуровней, структуры и актора, государства и общества» [2, с. 15].

Британская школа в социологии международных отношений видит главным актором международного общества суверенные государства; основным инструментом регулирования отношений между ними является международное право. Французская школа видит основной тенденцией в международных отношениях подрыв государственного суверенитета «расщеплением» лояльности индивида между государством, транснациональными и социокультурными сетями. Внутренне разнородное направление «конструктивизм» в общем содержании сводится к признанию главными объектами анализа международных отношений национальных государств; ключевые конструкции в межгосударственной структуре рассматриваются в

данном ракурсе как интересубъективные; «идентичности и интересы государства считаются в значительной степени сконструированными этими социальными структурами» [5, с. 49]; мировое сообщество и его составляющие части взаимно создают друг друга [5, с. 50].

Представляется необходимым отказаться от обозначенных подходов к рассмотрению социальной структуры и утвердить новый подход, который условно можно назвать цивилизационным, исходя из признания цивилизаций основным актором международных отношений. Данный подход стоит отнести не к ТМО, а к социологии международных отношений как к более широкому направлению, отвергающему главенствующую роль акторов, базирующихся на принципах суверенитета, международного права, либеральной идеологии.

Цивилизационный подход, как и социология международных отношений (исключая Британскую школу СМО), основную роль в международных отношениях отводит ценностям, нормам, культурным особенностям, традициям, присущим различным цивилизациям. В силу данной особенности в соответствии с этим подходом утверждается необходимость анализа международных отношений с точки зрения многополярности мира.

Наиболее важные исследовательские концепции, имеющие своим предметом крупные культурные и социальные системы, принадлежат Н. Я. Данилевскому, О. Шпенглеру, А. Тойнби, П. А. Сорокину. Данные теории не представляют собой непосредственно теории социологии международных отношений, но являются ее идейными предшественниками.

П. А. Сорокин, анализируя концепции основоположников цивилизационных теорий, отмечает, что крупные социокультурные системы «представляют собой реальные причинно-смысловые целостности, отличные от культурных скоплений, малых культурных систем, а также от государства, нации, политических, религиозных, расовых, этнических и других социальных систем и групп» [4, с. 6]. Данные «суперсистемы», в терминологии П. А. Сорокина, или цивилизации, во многом определяют свойства малых групп и культурных систем. В этом состоит их и теоретическое, и большое практическое значение.

В данном контексте П. А. Сорокин дал определение цивилизации, обобщенное из макросоциологических теорий цивилизаций: «Цивилизация, или великая культура, представляет собой обширную культурную систему, объединяющую в одно интегрированное целое всю культуру сравнительно большой, преимущественно наднациональной культурной общности» [4, с. 9].

Один из первых мыслителей, работавших в этом направлении, – русский социолог Н. Я. Данилевский, выдвинувший концепцию «культурно-исторических типов». Главной мыслью, на которой строилась теория социолога, было утверждение о принципиальном различии России и Европы, как принадлежащих к разным, чуждым друг другу мирам. Важным замечанием Данилевского стало положение о том, что западная цивилизация не носит всеобщего характера и представляет собой одну из нескольких великих цивилизаций [3, с. 59].

Схожие мысли высказывал знаменитый немецкий философ и культуролог О. Шпенглер. Он также считал, что существует ряд «высоких культур». История, согласно О. Шпенглеру, не является линейным развитием единой культуры.

Неоценимый вклад в теорию цивилизаций внес А. Тойнби, утверждавший, что «истинной областью исторического знания является не описание отдельных событий, сближенных в пространстве и времени, не история государств или политических систем, или же человечества в целом, а «цивилизация» в ее религиозных, территориальных и политических характеристиках» [6, с. 39]. Большое значение также имеет его теория «вызова-ответа», раскрывающая механизм развития цивилизаций. В данной теории А. Тойнби отмечал, что семь из оставшихся восьми цивилизаций «находятся под угрозой уничтожения или ассимиляции с западной цивилизацией» [6, с. 46].

Что касается П. А. Сорокина, он проделал прекрасную работу по обобщению основных положений цивилизационных теорий. Дальнейшему развитию цивилизационной теории послужил ряд ценных критических замечаний социолога. Согласно П. А. Сорокину, цивилизация является не культурной, а социальной общностью. Именно в смешении культурных и социальных систем социолог видел неудачу своих предшественников в выделении главных

критериев для вычленения цивилизаций и их количества [5, с. 23]. Цивилизации могут быть различных типов: языковые (или этнические) общности, государственные, религиозные или многофакторные образования. Ядром отдельной цивилизации является организованная социокультурная общность, вокруг которой также есть и периферия – несколько инородных культурных образований, не вписанных органично в доминирующую культуру. Поэтому нельзя говорить об интегрированном культурном единстве каждой организованной общности, единой цивилизации [5, с. 26].

В теории международных отношений также уделялось внимание значению цивилизационных факторов. Так, в 1993 году вышла знаменитая статья профессора Гарвардского университета С. Хантингтона «Столкновение цивилизаций?», вызвавшая широкую дискуссию в научных кругах. Данная работа являлась гипотезой, автор не предложил стройную концепцию. Вслед за ней также не последовало каких-либо других серьезных разработок цивилизационной теории международных отношений. Стоит отметить, что политические взгляды С. Хантингтона обычно относят к постклассическому направлению политического реализма [1, с. 64]. «Теория столкновений цивилизаций» рассматривает цивилизационный подход с позиции однополярного мира, но тем не менее ее можно считать отправной точкой в цивилизационном направлении социологии международных отношений.

Несмотря на то, что в теории международных отношений отсутствует стройный цивилизационный подход, разработанный в рамках теории многополярного мира, которая, впрочем, также имеет на данный момент лишь общие очертания, геополитическая мысль продвинулась в данном направлении довольно существенно. Тем не менее геополитика рассматривается нами как неотъемлемая составляющая социологического цивилизационного подхода.

Геополитическая наука представляет собой исследование взаимовлияния, с одной стороны, пространства и общества, а с другой – государства, которое они образуют. Рамки национального государства всегда представляли собой искусственные границы, мало отражающие реальные социальные общности, хотя на определенном этапе человеческой истории и служили стабилизатором международных отношений.

Наиболее значимой теорией, лежащей в основе интеграционных процессов, согласно цивилизационному подходу для многополярного мира, является «Теория больших пространств» («Grossraum») К. Шмитта. В ней процесс развития государств рассматривается как стремление к интеграции в наибольшее территориальное объединение, то есть к имперской интеграции [12, р. 43]. «Большое пространство» можно «отождествить с Государством, а точнее с Империей (das Reich), эта концепция выходит за рамки обычного государства. Это новая форма сверхнационального объединения, основанного на стратегическом, геополитическом и идеологическом факторе» [12, р. 48]. Особенно важным моментом данной теории является принцип культурного, этнического плюрализма интеграции, базирующийся на лояльности к наднациональному органу. Такое объединение «зависит от политической воли, распознающей историческую необходимость такого геополитического шага» [13, р. 17].

Итак, в предлагаемом подходе основным актором международных отношений должны быть цивилизации. С нашей точки зрения, в последнее время данному фактору исследователи стали придавать больше значения, так как именно цивилизации всегда играли важнейшую роль в международных отношениях. Согласно данному подходу цивилизация определяется как продукт развития комплиментарных этносов, народов, развивающихся в определенных пространственных условиях и создающих определенную цивилизацию. Плюрализм цивилизаций является центральным моментом в данном подходе.

Цивилизация, как известно, определяется наличием объективных черт, таких как язык, история, религия, обычаи, институты и субъективная идентификация людей. Об этом пишет С. Хантингтон, выделяя все укрепляющуюся роль цивилизационной идентичности в процессе установления современного миропорядка [3, с. 37].

Экономический детерминизм как принцип, по которому происходит европейская интеграция, уделяет недостаточно внимания культурной, информационной, коммуникативной

среде, без которой успешное экономическое взаимодействие между народами было бы затруднено. «Лингвисты доказали, что развитие языков из племенных диалектов – это развитие и эволюция местных рынков, где язык был необходимым средством коммуникации, связующим элементом. По мере укрупнения языковых пространств язык все меньше был функцией «крови» и этнографического субстрата и все больше – функцией экономического пространства» [3, с. 44]. Следует отметить, что единое языковое пространство – гораздо более устойчивый фактор интеграции, чем экономика. Именно цивилизационные характеристики, вместе с языком как одной из черт цивилизаций, определяют социальный уровень интеграции, позволяющий субцивилизационным субъектам достигать наивысшего уровня интегрированности.

Таким образом, исходя из различия в уже сложившихся, классических парадигмах ТМО, подходах социологии международных отношений и в предлагаемом в данной статье развивающемся цивилизационном подходе, можно утверждать, что интеграционные процессы могут носить различный характер. Согласно вышесказанному можно представить классификацию основных моделей международных интеграционных процессов.

Модели международных интеграционных процессов имеют особенности, отражающие парадигмальные различия в теории международных отношений.

Особенностью интеграционных процессов в политическом реализме можно считать невозможность образования наднациональных органов между государствами. Интеграция между национальными государствами происходит путем образования нового суверенного государства через добровольное слияние государств, захват одного государства (или его части) другим, самостоятельное отделение одного государства от другого, распад государства и т. п. Главным свойством всех появляющихся в результате интеграционных (или дезинтеграционных) процессов акторов будет суверенитет. В результате следования принципам международного права, в основном в истории международных отношений, происходит дезинтеграция национальных государств, а полной политической интеграции не происходит. Впрочем, неореализм допускает создание союзов. Интеграционные процессы между национальными государствами, согласно данному подходу, происходят без нарушения целостности суверенитета.

Отличительной особенностью интеграционных процессов в парадигме радикализма является экономический детерминизм. Для сторонников радикализма международные отношения не имеют отличий от внутриобщественных отношений. Из теоретических течений данной парадигмы в контексте интеграции интерес представляет неомарксистская форма радикализма, в которой международные отношения более не носят характер вторичных, надстроечных. Данные изменения связаны с расхождением теории классического марксизма с реальными процессами. Международная региональная интеграция в контексте неомарксизма носит характер экономического и политического перераспределения. Региональная интеграция происходит через развитие мирового капитализма и «размежевание интересов богатых и бедных стран мира – Севера и Юга» [4, с. 48].

Наибольшую разработку в отношении процессов интеграции получила неомарксистская мир-системная теория И. Валлерстайна. В данной теории основным принципом интеграции являются экономические интересы, которые в процессе глобализации углубляют социальное неравенство, формируя в итоге противостоящие друг другу регион богатого Севера (ядро) и регион бедного Юга (периферия).

Наиболее полной теоретической разработанности проблема современных интеграционных процессов достигла в рамках либерально-идеалистической парадигмы, которая признает постепенную утрату национальными государствами своего суверенитета и передачу его новым акторам международных отношений – наднациональным органам. Большинство теоретических подходов, описывающих интеграционные образования, основываются на успешном опыте европейской интеграции. Среди исследований по проблемам интеграции можно выделить несколько наиболее разработанных теоретических направлений: западноевропейский федерализм, функционализм и неофункционалистский подход, коммуникационный подход.

На заре интеграционных процессов в Европе, после Второй мировой войны, стала очевидна несостоятельность Лиги Наций как организации, обеспечивающей мир между государствами данного региона. Боязнь немецкого реваншизма и коммунистическая угроза подталкивали теоретиков европейской интеграции разрабатывать новые способы объединения Европы. Основным теоретический спор происходил между сторонниками федерализма и функционализма.

Западноевропейский федерализм представляет цель интеграции в объединении государств Европы на основе федерального принципа. Согласно данной концепции национальное государство практически исчерпало свои управленческие возможности, становится слишком узким для экономических, политических и культурных процессов европейских стран. Переход к более широкой форме государственности осуществляется с помощью правовых методов. Исходя из различий в мерах правового закрепления суверенитета федерализм может осуществляться в двух формах: федерация (союзное государство) и конфедерация (союз государств). Также иногда выделяют промежуточную форму реализации федерализма – наднациональное государство. В настоящее время в таком состоянии находится Европейский союз. Есть мнения, что наднациональное сообщество представляет собой этап на пути осуществления европейской федерации. В любом случае, прецедента полной политической интеграции на данный момент не существует. Западноевропейский федерализм делает упор исключительно на институциональный метод в отношении интеграции, точкой отсчета интеграции являются политические институты, дающие толчок процессам в экономической и социальной сферах, т. е. сверху вниз.

Главный теоретик оппонирующего подхода к интеграционным процессам в Европе функционализма Д. Митрани, исследуя причины неудачи Лиги Наций, критиковал попытки интеграции, основанные на политических методах. С его точки зрения, «Лига Наций потерпела поражение потому, что государства видели в ней угрозу своему суверенитету» [3, с. 13]. Основным объектом, на котором концентрировали внимание функционалисты, были функции, которые должно выполнять новое государственное образование, а не его форма. Это более прагматичный подход. Интеграционные процессы, согласно данному подходу, должны носить постепенный характер. Функционалисты придерживались мнения, что изначально требуется экономическая интеграция, а не форсированное создание наднациональных институтов, как считали федералисты. Такая стратегия должна подвести к плавной политической интеграции, не провоцируя повышения уровня государствоцентричности.

Главное отличие между федерализмом и функционализмом состоит в степени внимания к политическому и экономическому аспектам интеграции. Сторонники федерализма обращали большее внимание на форму интеграции, а теоретики функционализма – на функциональный момент интеграции. В то же время и федерализм, и функционализм искали способ интеграции для поддержания мира в международных отношениях.

Неофункционалистский подход, являющийся реинтерпретацией функционализма 1940-х годов Д. Митрани, стал разрабатываться в качестве самостоятельной теории с конца 1950-х годов. Наиболее ярким теоретиком данного направления является Э. Хаас. Неофункционализм представляет собой своего рода компромисс между наработками первых архитекторов европейской интеграции, федерализмом и классическим функционализмом.

Особенностью неофункционализма, которую пытался разработать в своей концепции Э. Хаас, является фокусировка интеграции на региональном уровне, а не на глобальном. От классического функционализма данный подход отличается стремлением к политическому сотрудничеству. Впрочем, как и в предшествующем подходе, неофункционализм признает экономические методы как средство достижения политической интеграции. Э. Хаас определял политическую интеграцию как процесс, в котором «политические акторы передают часть своего национального суверенитета, лояльности, ожиданий и политических действий новому центру, институты которого располагают или требуют полномочия над уже существующими национальными государствами» [12, р. 22].

В то же время неофункционализм не полностью совпадает во взглядах на политическую интеграцию с федерализмом. Согласно неофункционализму одно лишь наличие наднациональных институтов не позволит развиваться политической интеграции. Неофункционализм стремится создать наднациональное сообщество по образу национального государства, что сближает данный подход с федерализмом. Но в отличие от федерализма неофункционализм не считает институт национального государства изжившим себя и требующим «насильственного» устранения. В соответствии с неофункционалистским подходом лояльность социальных групп к национальному государству как институту сохраняется [12, р. 32]. В связи с этим Э. Хаас делает вывод о том, что базой европейской интеграции является не идея самобытности Европы, исторической миссии «европейской цивилизации», а практические интересы [12, р. 33].

Таким образом, неофункциональный подход основывается на приоритете политики экономического роста и благосостояния (так называемая малая политика) над большой политикой («*grosse politik*»), в то время как национальные амбиции и престиж в послевоенный период принимают иррациональный характер.

Позднее, в ответ на критику положений о вторичности идеологической деятельности государства, неофункционализм сформулировал идею о целостном характере экономической и политической сферы и непрерывности интеграционного процесса. В данном контексте появилось ключевое понятие неофункционализма «перелив» (*spillover*), отражающее связь экономических и политических процессов. Впрочем, по-прежнему экономический момент в интеграции является первоначальным, дающим возможность политической интеграции.

И все же такие критики неофункционализма, как Р. Хансен, К. Кайзер, С. Хоффман, в противовес экономикоцентричной интеграции ставили принципиальность позиций государств по отношению к вопросам «большой» политики и возможность всегда найти компромисс в вопросах экономики. В отношении политической стратегии уступки слишком дорого обходятся государствам. С. Хоффман считает, что «...функциональная интеграция может оказаться успешной лишь тогда, когда метод достаточно убедительно гарантирует постоянный перевес выигрыша над потерями. Теоретически такое возможно лишь в экономической интеграции. Что же касается политической интеграции, то такой гарантии дать невозможно» [8, с. 17].

Большой вклад в теорию интеграционных процессов сделали последователи коммуникационного подхода. Интеграция в рамках данного подхода рассматривается через концепцию коммуникационных сетей, осуществляющих обмен «информацией, способствующих выполнению определенных функций и накоплению опыта» [8, с. 49]. Одним из главных разработчиков данного подхода является К. Дойч, выделяющий два типа политической интеграции: амальгамную и плюралистическую. Названия данных процессов отражают их специфику.

В случае амальгамной интеграции независимые государства интегрируются в новое, более широкое объединение, отдавая свой суверенитет общим органам управления. При этом для такого типа интеграции требуется комплекс определенных условий социокультурного и политического характера: «приверженность населения интегрирующихся общностей одним и тем же ценностям, обоснование ожидания выгод от интеграции, достаточное знание друг друга и, соответственно, предсказуемость поведения» [9, с. 34]. Также важным моментом является лояльность населения к новым политическим институтам и глубокое осознание своего единства.

Интеграция государств по плюралистической модели осуществляется без утраты государствами своего суверенитета и не требует ряда специфических социокультурных и политических условий, кроме непротиворечия основным ценностям и интересам.

Согласно коммуникативному подходу интегрированное сообщество является «сообществом безопасности, в котором существует реальная уверенность в том, что его члены не будут вести друг с другом физической борьбы, изыскивая иные пути для решения своих разногласий» [8, с. 47]. Особенностью данного подхода является допущение глобальной инте-

грации как логического завершения процессов интеграции, хотя этому и препятствует относительная стабильность института национального государства. Расширить рамки национального государства можно лишь в случае увеличения коммуникативных возможностей более крупных образований, в том числе и глобального уровня.

Стоит отметить, что видение интеграционных процессов К. Дойчем носит выраженный либеральный характер. В процессе международной интеграции он выделяет формирование транснационального сообщества, в котором происходят экономический, информационный обмен и социальная ассимиляция, а также международное политическое объединение (амальгамация).

Разработанной модели интеграции, отвечающей положениям цивилизационного подхода, пока не существует. Попытаемся наметить основные очертания цивилизационной модели интеграционных процессов, исходя из имеющихся разработок цивилизационной парадигмы международных отношений, а также из подходящих положений в уже разработанных теориях интеграции.

Цивилизационный подход основывается на культурном содержании нового объединения. Принцип единой цивилизации должен являться базовым принципом интеграции. Выбор данного принципа основан на соображении о том, что государствам с единым культурным кодом, одинаковыми и непротиворечащими ценностями, языком, традициями проще осуществить интеграцию.

Цивилизационный подход развивается в рамках многополярной международной системы. Поэтому дополнительным важным моментом является постоянная угроза со стороны других потенциальных полюсов международной системы взять под свое влияние государства. В настоящее время данная стратегия удается превосходящему все остальные полюса североатлантическому полюсу – США, что ведет к невозможности проявления остальными полюсами своей субъектности. Ответом на эту угрозу может быть интеграция государств в «большие пространства» (согласно К. Шмитту), регионы, по цивилизационному признаку.

Учитывая разработку теорий интеграции, основывающихся на опыте европейской интеграции, можно заметить, что толчком для начала политической интеграции являлись внутренняя и внешняя угрозы. Сдерживание внутренней угрозы осуществлялось через экономическую интеграцию (не обладая монополией на сталь и уголь, никто не сможет развязать войну), а внешней – через политическую интеграцию.

В цивилизационном подходе принимается реалистское видение международных отношений как баланс интересов. Но в отличие от предыдущих подходов этот подход признает приоритет не экономических интересов, а интересов народов каждой цивилизации, геополитические интересы, которые возможно привести к консенсусу с помощью морали, либеральных ценностей и экономической выгоды.

В теории международных отношений в рамках неофункционального подхода предпринимались попытки разработать теорию регионализма. Первые вразумительные инициативы в данной области, относящиеся к 1950–60-м годам, применялись к опыту Европейского сообщества. Этот период регионализма получил название «старый регионализм» [11, р. 19]. В 1980-х годах возникла новая волна продолжающейся до сих пор региональной интеграции – так называемый новый регионализм. Однако теоретической ясности эта тема еще не получила.

Как теория, развивающаяся в рамках неофункционального подхода, регионализм имеет в своей основе экономический интерес. Регионализм, таким образом, представляет собой государственную интеграционную экономическую политику, интеграцию сверху. Другая сторона этого интеграционного процесса – регионализация (интеграция снизу). Это неформальный компонент интеграции, происходящей в рамках повышенного коммерческого и общественного взаимодействия в условиях географической, культурной близости [11, р. 26].

«Старый регионализм» имел место в условиях биполярного мира. Толчком к «новому регионализму» послужило окончание холодной войны. Считается, что «новый регионализм» стал развиваться параллельно новым реалиям американской гегемонии. Региональные и дву-

сторонние торговые соглашения преумножились также в связи с провалом Доха-раунда [12, р. 41]. «Новый регионализм» способствует образованию многополярного мира, содержанием которого будут являться экономическая взаимозависимость, большая степень политического участия, «культурная и коммуникативная гомогенность (более высокая степень регионализации), что в итоге может привести к формированию региональной идентичности» [15, р. 31]. Примером формирования региональной идентичности является Европейский союз.

Данный этап интеграции является итогом региональной интеграции в концепции «регионности» Б. Хеттне, представляющей интерес для цивилизационного подхода. Первостепенная важность в установлении региональной связанности и региональной идентичности отводится политическим амбициям. В центре данной концепции лежат пять измерительных ступеней региональных образований, определяющих степень регионности: 1. На первом этапе регион определяется как географическая и экологическая единица, ограниченная естественными границами. 2. Затем «региональный комплекс» включает уже транслокальные взаимоотношения между общественными группами, которые в своей взаимозависимости составляют «комплекс безопасности» в региональной системе, описываемой как анархичная. Эти группы объединены парадоксальным образом через конфликты. 3. Следующим этапом является организованное или спонтанно образованное культурное, экономическое, политическое или военное сообщество. В более организованном сотрудничестве регион определяется государствами, которые случайно оказываются членами данной региональной организации. Более организованный регион может считаться «официальным» регионом в сравнении с процессом регионализации снизу. 4. Региональное сообщество оформляется, когда прочная организационная структура (официальная или менее официальная) способствует социальной коммуникации и сближению ценностей и действий в регионе, создавая гражданское общество, характеризуемое социальной осью на региональном уровне. 5. И наконец, региональное институционализированное устройство имеет фиксированную структуру принятия решений и сильные возможности актора, как у национального государства. Ключевые области для регионального вмешательства – разрешение конфликтов (в частности, между бывшими «государствами») и создание благополучия (в смысле регионального баланса) [13, р. 36].

Б. Хеттне является одним из первых разработчиков подхода «нового регионализма» в 1980-х годах. Данный подход больше фокусировался на системных факторах (особенно на глобализации и конце холодной войны), чем на внутрирегиональных факторах и взаимозависимостях, характеризующих другие так называемые старые подходы, особенно неофункционализм Э. Хааса. Несмотря на это, все большее внимание уделялось региональной организации, конструированию регионов и «регионности», что показало все большее влияние «старого» подхода и конструктивистского подхода. Тем не менее «новый регионализм» отличается от других подходов тем, что управляемые государствами региональные организации рассматриваются как вторичные по отношению к процессу регионализации. Регионы не представляются как само собой разумеющееся или предписанное, как «политика и проект». В 2000-х годах в подходе «нового регионализма» наметился акцент на организации и региональном построении, что делает его менее нормативным, чем в 1990-х.

Ф. Зодербаум считает, что «с аналитической перспективы регион систематически исключался в большинстве подходов международных отношений через акцент на двух уровнях: глобальной системы или государственном уровне, что произвело негативный эффект на изучение регионов и регионализма» [8, с. 27]. Он призывает учитывать в международных отношениях опыт социологии и географии для лучшего понимания пространства и соответствующих категорий. Исследователи международных отношений слишком мало внимания уделили тому, что регионализм может как предшествовать регионализации, так и следовать за ней.

Концепт «регионности» Б.Хеттне получил развитие не только из понятия государственности, но и воображаемых сообществ. «Это понятие (регионности) стремится концептуализировать процесс, в соответствии с которым регионы «формируются», и может рассматриваться как сравнительный или эвристический инструмент для понимания конструк-

ции и консолидации регионов и формирования релевантных акторов в исторической и многоаспектной перспективе» [15, р.31]. Регионы могут рассматриваться в данном контексте как международное общество, региональное сообщество или региональное институционализированное устройство и т. д. Понятие «регионность» с 1990-х не раз подвергалось критике и сейчас теоретически разрабатывается с позиции конструктивизма. Таким образом, концепция регионности имеет черты и неофункционального подхода, и коммуникативного.

Цивилизационный подход не противоречит неофункциональному подходу в отношении процесса интеграции, но делает упор на социологические, ценностные принципы объединения сообществ. Если неофункционализм рассматривает процесс региональной интеграции европейского пространства, цивилизационный подход пытается выявить закономерности интеграции цивилизационных пространств на глобальном уровне, более широко. При этом отрицается возможность глобальной общественной и политической интеграции, что соответствует коммуникативному подходу.

Конечной целью интеграции в цивилизационном подходе является политическая интеграция. Для нее, как в коммуникативном подходе, разрабатываемом К. Дойчем, требуются определенные условия социокультурного характера: общие ценности, достаточное знание государствами друг друга, глубокое осознание своего единства. В концепции К. Дойча наличие социокультурных условий позволяет осуществиться интеграции с образованием наднациональных органов. Но в отличие от коммуникационного подхода цивилизационный подход подразумевает цивилизационные рамки политической и социальной интеграции.

В любом случае интеграционные процессы зависят от реальных цивилизационных, культурных, исторических, экономических, политических и социальных условий регионов. Согласно цивилизационному подходу учитываются эти особенности, базовыми моментами являются неснимаемые цивилизационные различия, которые могут приходить в конфликт при неверной государственности, политической интеграции, даже при экономических выгодах.

Список литературы

1. Бжезинский, З. Великая шахматная доска. Господство Америки и его стратегические императивы / З. Бжезинский. – М., 2009.
2. Быков, А. Н. Постсоветское пространство: стратегии интеграции и новые вызовы глобализации / А. Н. Быков. – СПб., 2009.
3. Кревельд ван М. Расцвет и упадок государства / М. ван Кревельд. – М., 2006.
4. Пивовар, Е. И. Постсоветское пространство: альтернативы интеграции: исторический очерк / Е. И. Пивовар. – СПб., 2010.
5. Савицкий, П. Н. Континент Евразия / П. Н. Савицкий. – М., 1997
6. Тойнби, А. Постигание истории / А. Тойнби // Сб. / пер. с англ. Е. Д. Жаркова. – М., 2001.
7. Трубецкой, Н. С. Европа и человечество / Н. С. Трубецкой. – М., 2006.
8. Шмитт, К. Государство и политическая форма / К. Шмитт. – М., 2010.
9. Шпенглер, О. Закат Европы / О. Шпенглер. – М., 1993.
10. Deutsch, K. The Analysis of International Relations / K. Deutsch. – N.Y., 1957.
11. Deutsch, K. Nationalism and Its Alternatives / K. Deutsch. – N.Y., 1969.
12. Haass, R. Transatlantic Tensions: The United States, Europe and Problem Countries / R. Haass. – Washington: D.C., 2001.
13. Hoffmann, S. Discord in Community: The North Atlantic Area as a Partial International System. International Organisation / S. Hoffmann – N.Y., 1963.
14. Mackinder, H. J. Democratic Ideals and Reality / H. J. Mackinder. – London: Constable and Company Ltd., 1919.
15. Mahbubani, K. The West and the Rest. The National Interest / K. Mahbubani. – N.Y., 1992.

*Сведения об авторе:

Жутдиев Баймухамед Байрамович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 17.01.2013 г.

СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО РЕЖИМА

УДК 355.01

М. Ф. Карлович, П. И. Миронюк*

В статье исследован механизм установления пограничного режима и его влияние на обеспечение пограничной безопасности на Государственной границе и приграничной территории Республики Беларусь.

In this article the process of border regime establishing and its influence on ensuring border safety at the state border and border territory of the Republic of Belarus is observed.

Одной из важнейших мер обеспечения охраны Государственной границы, как основной формы обеспечения пограничной безопасности, является установление пограничного режима в пограничной зоне и ее составной части – пограничной полосе.

Установление пограничного режима заключается в повышении возможностей выявления, предупреждения и пресечения нарушений законодательства о Государственной границе.

Республика Беларусь, как и многие государства мира, осуществляя защиту своих национальных интересов на Государственной границе, создает вдоль нее особые режимные территории – пограничные зоны, на которых вводятся ограничения различного рода. Пограничная зона – участок местности, прилегающий к Государственной границе в пределах части территории района, города, поселка городского типа, сельского совета, включающий также принадлежащую Республике Беларусь часть вод пограничных рек, озер и иных водных объектов и расположенные в этих водах острова, предназначенный для осуществления охраны Государственной границы [1]. Установление подобных зон позволяет своевременно и более эффективно принимать меры по поиску и задержанию нарушителей границы, предотвращению контрабандной и иной противоправной деятельности.

История установления пограничных зон и правил пограничного режима свидетельствует о поэтапном изменении их пространственных и временных пределов в целях совершенствования порядка установления пограничного режима в целом.

В соответствии с советским законодательством основное назначение пограничного режима заключалось в повышении возможностей обнаружения и задержания нарушителей границы, выявления и пресечения нелегальных связей через Государственную границу СССР. Режимы в пограничной зоне и пограничной полосе устанавливались в целях обеспечения соблюдения социалистической законности и правопорядка на государственной границе и должны были способствовать выполнению международных договоров СССР.

Пограничная зона устанавливалась, как правило, в пределах территории района, города, поселка, сельского совета, прилегающего к Государственной границе СССР или к охраняемому пограничными войсками побережью моря [2].

Пограничная полоса входила в пограничную зону и устанавливалась непосредственно вдоль Государственной границы СССР на ее сухопутных участках или вдоль берегов пограничных рек, озер и иных водоемов и не должна была превышать 2 км от государственной границы [2].

Ширина пограничной зоны на различных участках государственной границы была неодинаковой и зависела от политического строя сопредельного государства и взаимоотношений с ним, плотности населения и характера его производственной деятельности, экономического назначения приграничной территории и других факторов.

Конкретный перечень административных районов, городов, поселков, сельских советов, входивших в пограничную зону, определялся Советом Министров союзных республик и объявлялся специальным постановлением.

По ходатайствам некоторых местных органов власти в пограничную зону были включены максимальные территории, в связи с чем ее пределы оказались явно завышенными, не соответствующими реальным потребностям для обеспечения порядка на границе.

Например, на территории, прилегающей к морям Северного Ледовитого океана, ее глубина достигала 500–600 км. В ряде регионов в пограничную зону оказались включенными места массового отдыха населения, курортные местности (Приморский край, Калининградская и Ленинградская области).

В результате этого въезд, передвижение и временное пребывание советских граждан на значительной территории страны неоправданно ограничивались, что существенно ущемляло их права, не отвечало существующей обстановке и требованиям того времени и являлось причиной многочисленных жалоб.

Становление независимости и установление Государственной границы Республики Беларусь потребовали разработки нового Закона о Государственной границе. Особое внимание в процессе подготовки данного нормативного правового акта уделялось вопросу установления пограничных зон и пограничных режимов. В отличие от Закона СССР «О государственной границе СССР» в Законе Республики Беларусь «О Государственной границе Республики Беларусь» от 4 ноября 1992 года (далее – Закон) глава «Пограничный режим» была значительно расширена и содержала новые статьи «Въезд и временное пребывание, передвижение лиц и транспортных средств в пограничной зоне и пограничной полосе» и «Хозяйственная и иная деятельность в пограничной зоне и пограничной полосе» [3]. Кроме того, в Законе указывались пределы пограничной зоны и пограничной полосы. Важной особенностью Закона являлось то, что в пограничную зону могли не включаться территории населенных пунктов, санаториев, домов отдыха, других оздоровительных учреждений, учреждений (объектов) культуры, а также места массового отдыха, водопользования, отправления религиозных обрядов и иные места традиционного массового пребывания граждан.

Развитие Республики Беларусь как цивилизованного демократического государства вызвало объективную необходимость внесения изменений в указанный Закон. В ныне действующем Законе «О Государственной границе Республики Беларусь» от 21 июля 2008 года № 419 изменения коснулись пределов пограничной зоны, что было обусловлено созданием благоприятных условий для активного развития экономических связей, повышением туристической и деловой привлекательности страны.

В целях создания благоприятных условий субъектам хозяйствования, гражданам в вопросах осуществления хозяйственной деятельности на территории приграничных районов Государственным пограничным комитетом Республики Беларусь был инициирован вопрос о сокращении пределов пограничной зоны. Из пограничной зоны максимально возможно были выведены территории санаториев, домов отдыха, других оздоровительных учреждений, объекты культуры и туризма. В результате глубина пограничной зоны в настоящее время не превышает 12 км. До внесения изменений в решения облисполкомов глубина пограничной зоны достигала 50 км [4].

Составной частью пограничной зоны является пограничная полоса. Пограничная полоса вдоль Государственной границы с Республикой Польша установлена от крайнего предела полосы крепления Государственной границы до тыловой границы рубежа инженерных сооружений органов пограничной службы, а с Литовской Республикой, Латвийской Республикой и Украиной – от крайнего предела полосы крепления Государственной границы (полоса крепления границы – полоса вдоль границы шириной 5 м по обе стороны от линии границы, в пределах которой устанавливаются пограничные знаки). Ширина пограничной полосы определяется договаривающимися сторонами с учетом местных условий и, как правило, не превышает 500 м.

Снижение барьерных функций пограничного режима позволяет повысить туристический и транзитный имидж, инвестиционную привлекательность и экспертный потенциал Республики Беларусь. С другой стороны, увеличение прозрачности Государственной грани-

цы создает условия для роста трансграничной незаконной деятельности, контрабанды наркотиков, товаров, оружия, миграции людей.

В целях нейтрализации этих угроз государство вынуждено принимать адекватные меры по обеспечению государственного суверенитета, целостности и неприкосновенности своей территории, защиты национальных интересов.

Законодательство Республики Беларусь наделяет государственные институты определенными полномочиями, юридическая сущность которых заключается в формировании правовых инструментов, обеспечивающих регулирование правоотношений взаимодействия субъектов на Государственной границе.

Одним из элементов системы мер, направленных на защиту интересов государства на Государственной границе, являются режимные ограничения (режим пограничных зон). Порядок обеспечения пограничного режима устанавливается Положением о порядке пограничного режима на территории Республики Беларусь, которое утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 января 2009 г. № 70 [5].

Применительно к приграничной территории полномочия государственных органов, местных исполнительных и распорядительных органов в соответствии с указанным Положением заключаются в праве установления определенных ограничений прав и свобод человека и гражданина в случаях, предусмотренных Законом, в интересах национальной безопасности, общественного порядка, защиты нравственности, здоровья населения, прав и свобод других лиц.

Такие ограничения включают запреты:

по содержанию водных судов вне установленных пристаней, причалов, портов и других пунктов базирования;

отходу от берега или причаливанию к берегу вне пристаней, портов, причалов и других пунктов базирования;

осуществлению хозяйственной или иной деятельности, создающей помехи выполнению органами пограничной службы задач в области охраны Государственной границы;

въезду (входу), временному пребыванию и передвижению в пограничной полосе лиц и транспортных средств без пропусков, выдаваемых уполномоченными должностными лицами органов пограничной службы;

въезду (входу), временному пребыванию и передвижению в пограничной зоне граждан Республики Беларусь, иностранных граждан и лиц без гражданства, постоянно проживающих в Республике Беларусь, без документов, удостоверяющих личность, наличия документов, подтверждающих уплату государственной пошлины в размере, определенном законодательными актами Республики Беларусь, либо документов, на основании которых въезд (вход), временное пребывание и передвижение в пограничной зоне разрешены без уплаты государственной пошлины.

Перечень документов, на основании которых въезд (вход), временное пребывание и передвижение в пограничной зоне разрешены без уплаты государственной пошлины, касается лиц государственных органов, военнослужащих, а также работников выездной бригады скорой медицинской помощи, выполняющих свои обязанности по служебной необходимости [6].

Пределы пограничной зоны определяются решением областных исполнительных комитетов по предложению Государственного пограничного комитета Республики Беларусь и обозначаются предупреждающими знаками, которые устанавливаются в местах, определенных решениями районных (городских) исполнительных и распорядительных органов.

К сожалению, не все граждане, а в отдельных случаях и руководители субъектов хозяйствования приграничной территории Республики Беларусь осознают необходимость установления пограничных зон и пограничных режимов. Ошибочно полагая, что их установление необоснованно, ограничивает права и свободы человека и гражданина, а также препятствует развитию приграничной торговли, они забывают о значении пограничных зон и пограничных режимов для пограничной безопасности Республики Беларусь, создания препятствий контрабандной деятельности, разрастанию трансграничной преступности.

Обеспечение пограничной безопасности путем установления пограничного режима осуществляется не только нашим государством, но и зарубежными странами.

Для примера рассмотрим порядок установления пограничного режима в сопредельных с нами государствах, являющихся членами Европейского союза или стремящихся стать таковыми.

В Латвийской Республике в интересах безопасности кабинет министров может определять вдоль сухопутных границ государства пограничный район не менее 15 км, а также пограничную зону, входящую в пограничный район, не шире 2 км. Исходя из этого определены понятия режима пограничного района и режима пограничной зоны.

Постановлением кабинета министров Латвийской Республики определено, что вдоль Государственной границы Латвийской Республики и Российской Федерации, Государственной границы Латвийской Республики и Республики Беларусь должны действовать дополнительные правила режима пограничной зоны.

В Литовской Республике пограничный юридический режим действует на пограничном участке и территориальном море. Пограничный участок может устанавливаться шириной до 5 км на глубину территории Литовской Республики от Государственной границы, проходящей по суше, пограничным водным источникам. Пределы пограничного участка утверждает правительство по рекомендации министра внутренних дел. Кроме того, на территории пограничного участка (с охватом внутренних вод) правительство может устанавливать охранную зону Государственной границы, которая по своему назначению соответствует пограничной полосе Республики Беларусь.

Украинским законодательством определена пограничная полоса, которая устанавливается непосредственно вдоль государственной границы Украины на его сухопутных участках или вдоль берегов пограничных рек, озер и других водоемов с учетом особенностей местности и условий, определяемых кабинетом министров Украины, и контролируемые пограничные районы, которые, как правило, устанавливаются в пределах территорий района, города, поселка, сельского совета, прилегающих к государственной границе.

Из примеров пограничной практики зарубежных государств очевидно, что установление пограничных зон и пограничного режима на приграничной территории Республики Беларусь не противоречит международному праву, не нарушает конституционных прав и свобод человека и гражданина и соответствует действующему законодательству Республики Беларусь, поскольку ограничение прав и свобод личности предусмотрено ст. 23 Конституции Республики Беларусь [7].

Пограничное пространство охватывает значительную часть территории, примыкающей к Государственной границе, в пределах которой устанавливается специальный правовой режим и порядок действий подразделений органов пограничной службы, обеспечивающих суверенитет страны и защиту ее национальных интересов. Согласно административно-территориальному делению всего в Республике Беларусь имеется 118 районов, из которых 43 являются приграничными [8]. Очевидно, что в таких условиях, когда третья часть территории государства является приграничной, силами органов пограничной службы невозможно надежно закрыть все участки границы, включая и белорусско-российский, который не охраняется, но требует надлежащего контроля по причине того, что на этом участке процветает вывоз из страны продуктов питания, запасных деталей для сельскохозяйственной техники, топлива, черных и цветных металлов. Одним из путей решения этой проблемы, по мнению автора, является совершенствование национального законодательства в области пограничного режима по созданию условий для участия на добровольной основе граждан приграничной территории в охране Государственной границы.

Речь идет не только об участии физических лиц на добровольной основе в охране Государственной границы в порядке, установленном законодательными актами Республики Беларусь, но и о выполнении жителями приграничной территории неотъемлемых обязанностей, вытекающих из обстановки на Государственной границе. Они должны иметь обязанности, связанные с пограничной безопасностью, и нести ответственность за их выполнение в

соответствии с законом. К примеру, во многих странах (например, Польша, Финляндия) за сокрытие фактов, связанных с нарушением границы, неинформированием представителей пограничного ведомства об обстановке на приграничной территории, нарушением правил проживания, а также причастие к противоправным действиям местные жители отселяются из приграничных районов, несут материальные и финансовые издержки.

Не отказываясь от всего лучшего в практике взаимодействия с местными исполнительными и распорядительными органами, интересы обеспечения пограничной безопасности требуют от пограничного ведомства Республики Беларусь новых подходов, форм и методов привлечения жителей приграничной территории к участию в разрешении пограничных проблем. Параллельно с этим необходимо решить и другую не менее важную задачу – разработать систему мер и выработать механизм государственного поощрения и стимулирования физических лиц, участвующих в обеспечении пограничной безопасности, соответственно их вкладу в обеспечении пограничной безопасности.

Таким образом, принятие мер по совершенствованию правовых основ пограничного режима представляется целесообразным и своевременным. Они будут направлены прежде всего на обеспечение пограничной безопасности государства, снижение риска криминализации обстановки в приграничных населенных пунктах и создание благоприятных условий для осуществления оперативно-служебной деятельности органами пограничной службы по охране Государственной границы Республики Беларусь.

Первостепенная роль в этом вопросе отводится комиссиям по вопросам проведения государственной пограничной политики, в компетенцию которых входит обеспечение на подведомственной территории согласованных действий государственных органов и иных организаций в данной сфере, разработка предложений по совершенствованию актов законодательства Республики Беларусь о Государственной границе, финансирование мероприятий по проведению государственной пограничной политики и обеспечению пограничной безопасности.

Список литературы

1. О Государственной границе Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 21 июля 2008 г. № 419-З. – Минск: Гос. погран. комитет Респ. Беларусь, 2008.
2. О государственной границе СССР: Закон СССР от 24 нояб. 1982 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/basa/soviet/sssр3201.htm>. Дата доступа: 08.10.2012.
3. О Государственной границе Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 4 нояб. 1992 г. // Ведамасці Вярхоўнага Савета Рэсп. Беларусь. – 1992. – № 31 – С. 509.
4. Комментарий к Закону Республики Беларусь «О Государственной границе Республики Беларусь». – Минск: Тесей, 2010. – 552 с.
5. Положение о порядке пограничного режима на территории Республики Беларусь: Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 22 янв. 2009 г. № 70 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 30. – 5/29182
6. О некоторых вопросах охраны Государственной границы Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь от 9 марта 2009 г. № 125 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2009 г. – № 67. – 1/10532.
7. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г.). – 2-е изд. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2007. – 44 с.
8. Содружество Независимых Государств: портрет на фоне перемен // Массово-политическое издание: Республика Беларусь. – Минск: ПАНГРАФ, 1996. – С. 117.

*Сведения об авторах:

Карлович Михаил Федорович,

Миронюк Павел Иванович,

научно-исследовательский центр ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 09.10.2012 г.

**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОХРАНЕ
ОБЩЕСТВЕННОГО ПОРЯДКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА СФЕРЫ УСЛУГ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА**

УДК 355.42

А. Н. Курмашов*

В статье анализируется возможность адаптации стандарта сферы услуг системы менеджмента качества к оценке качества выполнения задач по охране общественного порядка при проведении массовых мероприятий.

In article analyzes possibility of adaptation of the standard of sphere of services of system of a quality management to an estimation of quality of performance of problems on public order protection at carrying out of mass actions.

Развитие процессов демократизации и гласности в нашей стране сопряжено с увеличением числа проводимых в государстве массовых мероприятий. Задача государства при этом – обеспечить соблюдение прав и свобод участников массового мероприятия и надежную общественную безопасность при организации мероприятия.

Общая тенденция мирового опыта в организации массовых мероприятий в основе своей имеет направленность жесткого регламентирования их организации, но наряду с этим стихийно возникающие массовые волнения или перерастающие из обычных разрешенных мероприятий приобретают все более жестокий характер. Поведение граждан в общей массе зачастую не имеет ничего схожего с их индивидуальными взглядами и мыслями, что подтверждается проводимыми исследованиями ученых многих стран в области психологии поведения личности в толпе, что позволяет выделить серьезную проблему не только нынешнего времени, но и будущего. Это проблема охраны общественного порядка и обеспечения общественной безопасности в местах массовых собраний граждан. Прежде всего уточним некоторые положения.

Общественный порядок – это система волевых общественных отношений, складывающихся и развивающихся главным образом в общественных местах на основе соблюдения норм права и иных социальных норм, направленных на обеспечение личной безопасности граждан, общественной безопасности, на создание благоприятных условий для нормального функционирования предприятий, учреждений, организаций и общественных объединений, для труда и отдыха граждан, уважения их чести, человеческого достоинства и общественной нравственности.

В отличие от ранее приводившихся в литературе определений общественного порядка, данное определение дополнено упоминанием об обеспечении личной безопасности граждан и общественной безопасности как цели общественного порядка.

Как известно, нормативными правовыми актами Республики Беларусь определены лица, ответственные за организацию массовых мероприятий, и силы, обеспечивающие их проведение [1]. Однако при наличии подобных документов ученые России в своих исследованиях пошли несколько дальше. Поскольку основу общественного порядка составляют отношения, складывающиеся в общественных местах, т. е. в местах общения людей при удовлетворении их материальных, духовных потребностей, во время отдыха, то средствами регулирования отношений в сфере общественного порядка будут нормы права и другие социальные нормы неюридического характера (нормы морали, обычаи, правила поведения). При этом было отмечено, что понятие общественного порядка шире понятия правового порядка, поскольку в укреплении и поддержании первого важная роль принадлежит всем социальным нормам. Правопорядок складывается только на основе правовых норм и в силу этого охраняется специальными государственно-правовыми мерами. Соответственно, правопорядок – часть системы общественных отношений, урегулированных нормами права и находящихся

под защитой закона и охраной государства. Он устанавливается в результате соблюдения режима законности в обществе. Если законность – это принцип, метод деятельности, режим действий и отношений, то правопорядок – их результат. Именно посредством правовых норм устанавливаются общеобязательные правила поведения, вводятся запреты на совершение ряда определенных действий, устанавливается ответственность за правонарушения, определяются задачи, функции, полномочия, формы и методы деятельности государственных органов, их должностных лиц, общественных формирований по охране общественного порядка [2]. Поэтому при рассмотрении оказания подразделениями внутренних войск услуги содействия органам внутренних дел в охране общественного порядка при проведении массовых мероприятий целесообразно рассматривать именно понятие «правопорядок», что позволит конкретизировать задачи самой услуги.

В контексте изучения необходимых мероприятий на первый план можно вынести следующие основные задачи органов внутренних дел и подразделений внутренних войск при оказании услуг по обеспечению правопорядка при проведении массовых мероприятий:

создание нормальных условий для организации массовых мероприятий в местах их проведения;

обеспечение безопасности для участников и зрителей;

предупреждение и пресечение преступлений и правонарушений;

оказание необходимого содействия организаторам проведения массовых мероприятий в рамках предоставленной компетенции;

поддержание надлежащего порядка на прилегающей территории.

При этом этапы построения или организации правопорядка целесообразно обозначить так:

подготовительный (когда осуществляются выдвижение привлекаемых сил и их расстановка);

непосредственного несения службы (начиная с порядка пропуска самих организаторов и их материальной части, а не с пропуска зрителей, прибывающих к месту действия);

заклучительный (суть которого в обеспечении ухода не только зрителей, но и организаторов, и вывоза материальных ценностей, аппаратуры и т. п.).

К сожалению, на данный момент отсутствует систематизированный анализ просчетов, допущенных при организации и проведении мероприятий с участием значительного количества граждан. Как следствие, одни и те же причины с завидным постоянством приводят к схожим трагическим последствиям. А вместе с тем развитие технических средств, упрощение доступа населения к всевозможным специальным изделиям обязывает подразделения, отвечающие за общественный порядок, совершенствовать на научной основе тактику применения сил и средств.

К одной из причин отсутствия информации для анализа вполне обоснованно можно отнести присущую многим органам и организациям внутрикорпоративную этику. Ведь ни один руководитель не хочет раскрывать допущенные ошибки, хотя просчеты, вину свою признает. Впрочем, эта причина вряд ли может быть названа основной. Суть проблемы кроется гораздо глубже. При проведении массового мероприятия, которое заканчивается без эксцессов, личный состав, обеспечивавший общественный порядок, оценивается положительно, а в случае допущения происшествий – отрицательно. С позиции обычного гражданина такой подход вполне разумен, но с позиции грамотных командиров, отвечающих за охрану общественного порядка, всегда найдутся лучший сотрудник милиции и военнослужащий и их противоположности. Следовательно, он их оценивает несколько детальнее и для этого определяет какие-то показатели, критерии оценки.

Из вышеизложенного следует, что общих объективно существующих показателей оценки качества обеспечения общественного порядка при проведении массовых мероприятий и их критериев не существует. Это и является сутью рассматриваемой проблемы. Информация для проведения анализа качества выполнения задач различается в своих подходах

и не позволяет ее систематизировать, а значит, не позволяет командиру оценивать динамику совершенствования навыков и умений личного состава подчиненного подразделения.

Вместе с тем стратегия развития сферы услуг в Республике Беларусь нацелена на усиление их роли в экономике и социальном секторе, рост экспорта и ускоренное освоение новых видов. Решению этих задач во многом способствует внедрение в организациях сферы услуг системы менеджмента качества по СТБ ИСО 9001.

Так, в настоящее время в республике сертифицирована 2491 система менеджмента качества по ИСО 9001, из них свыше 30 % – в организациях сферы услуг. Это организации, предоставляющие строительные услуги, осуществляющие пассажирские перевозки, компании компьютерного сервиса, учреждения образования, жилищно-коммунальные хозяйства и др. В 2011 году этот список пополнился организациями, оказывающими медицинские услуги [3].

Рассмотрим возможности формулирования и применения показателей качества выполнения задачи по обеспечению общественного порядка в соответствии с системой менеджмента качества на основе существующих в названном стандарте понятий и их интерпретации к обозначенной выше проблеме.

Услуга определена как результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности исполнителя по удовлетворению потребности потребителя. При этом оказываемые населению услуги по своему функциональному назначению подразделяются на материальные и социально-культурные. Анализ приведенного определения без дополнительных условностей позволяет, проводя аналогию, назвать таковой и услугу по обеспечению безопасности граждан, принимающих участие в массовых мероприятиях в том или ином качестве.

При этом в соответствии со стандартом *материальная услуга* – услуга по удовлетворению материально-бытовых потребностей потребителей, которая обеспечивает восстановление (изменение, сохранение) потребительских свойств изделий или изготовление новых изделий по заказам граждан, а также перемещение грузов и людей, создание условий для потребления. В частности, к материальным услугам могут быть отнесены бытовые услуги, связанные с ремонтом и изготовлением изделий, жилищно-коммунальные услуги, услуги общественного питания, услуги транспорта и т. д.

Социально-культурная услуга – это услуга по удовлетворению духовных, интеллектуальных потребностей и поддержанию нормальной жизнедеятельности потребителя. Социально-культурная услуга обеспечивает поддержание и восстановление здоровья, духовное и физическое развитие личности, повышение профессионального мастерства. К социально-культурным услугам могут быть отнесены медицинские услуги, услуги культуры, туризма, образования и т. д.

Как видно из анализа двух функциональных назначений услуги, более приемлемой для ассоциации с охраной общественного порядка является социально-культурная услуга, определяющая в нашем контексте необходимое состояние общества, позволяющее сохранить здоровье граждан и обеспечить их духовное развитие.

Таким образом, можно утверждать, что цель предоставления услуги по установлению и поддержанию общественного порядка состоит в обеспечении безопасности личности, общественной безопасности, в создании благоприятных условий для нормального функционирования организаций и общественных объединений, для труда и отдыха граждан, уважения их чести, человеческого достоинства, общественной нравственности.

Говоря о самом процессе оказания услуги (процессе обслуживания), необходимо отметить, что это совокупность операций, выполняемых исполнителем при непосредственном контакте с потребителем услуги в ходе реализации результата услуги или организации досуга, где в роли исполнителя может выступать предприятие, организация или предприниматель, оказывающие услугу потребителю, а потребителем может быть гражданин, получающий, заказывающий либо имеющий намерение получить или заказать услуги для личных

нужд. Совокупность факторов, воздействующих на потребителя в процессе предоставления услуги, есть не что иное, как условия обслуживания потребителей.

В ходе исследования процесса оказания услуги применительно к нашей задаче по оценке качества обеспечения общественного порядка возникает необходимость определения самих факторов, оказывающих влияние на граждан в процессе службы сотрудников милиции или военнослужащих внутренних войск. Также целесообразно определить степень взаимного влияния граждан и сил правопорядка, поскольку в любой системе такие взаимосвязи неизбежны.

Результатом услуги в соответствии со стандартом сферы услуг системы менеджмента качества является конечный продукт деятельности предприятия, организации или индивидуального предпринимателя, занимающихся удовлетворением соответствующей потребности потребителя. Это положение в несколько другой постановке уже звучало в нашем исследовании и сводилось к выражению гражданами своего мнения относительно удовлетворенности ими охраной общественного порядка.

Форма обслуживания потребителей – разновидность или сочетание методов (способов) их обслуживания. А метод (способ) обслуживания потребителей – это метод (способ) реализации продукции, организационных мероприятий в процессе предоставления услуги.

Следовательно, возникает необходимость при дальнейших исследованиях определить формы и методы оказания услуг населению применительно к обеспечению общественного порядка (правопорядка). Дополним проведенный анализ определением непосредственно показателя качества услуги. Применительно к существующему стандарту – это количественная или качественная характеристика одного или нескольких свойств услуги, определяющих ее способность удовлетворить требования потребителя. При этом к числу обязательных характеристик относятся безопасность услуги и безопасность услуги для экологии, где первая – показатель качества результата и процесса оказания услуги, характеризующий степень (риск) опасности недопустимых изменений (утраты) для жизни, здоровья, имущества граждан и окружающей среды, а вторая – показатель качества результата и процесса оказания услуги, характеризующий степень (риск) опасности изменений свойств и состояния фауны, флоры, водного и воздушного бассейнов, почвы и недр.

При рассмотрении данного положения в отношении общественного порядка напрашивается вывод о первостепенности определения критериев и показателей оценки качества боевой службы при проведении массовых мероприятий. Получить необходимые данные, на наш взгляд, возможно путем обобщения мнений самих граждан и лиц, привлекаемых для оказания услуги в виде обеспечения общественного порядка. Вместе с тем можно смело утверждать, что приведенные выше обязательные характеристики, применяемые в действующем стандарте относительно безопасности граждан и окружающей среды, в полной мере приемлемы и необходимы при оценке качества несения службы.

В завершение, применительно к работе командира по принятию решения, остановимся на контроле и оказании подчиненным помощи.

Контроль качества услуги (процесса оказания услуги) в соответствии с требованиями стандартов устанавливается как деятельность по определению значений показателей качества услуги (процесса оказания услуги). Оценка качества услуги (процесса оказания услуги) – количественное или качественное определение степени соответствия показателя качества услуги (процесса оказания услуги) установленным требованиям. Метод (способ) контроля качества услуги (процесса оказания услуги) – это совокупность правил, принципов, средств, позволяющих контролировать качество услуги (процесса ее оказания) [4].

В результате, проводя аналогию, следует отметить необходимость разработки методов контроля качества командиру (начальнику), обеспечивающему общественный порядок. То есть мы обоснованно приходим к подтверждению гипотезы, обозначенной в начале нашего исследования, что каждый командир должен иметь вполне определенную методику оценки действий своих подчиненных за несение службы по охране общественного порядка и обеспечению общественной безопасности при проведении массовых мероприятий.

Таким образом, можно сделать вывод, что действующая система менеджмента качества вполне может быть применима к оценке качества выполнения задач по охране общественного порядка при проведении массовых мероприятий. В интересах ее адаптации первоочередной задачей является необходимость определения основных показателей оценки качества выполнения органами внутренних дел, внутренними войсками задач по охране общественного порядка и общественной безопасности при проведении массовых мероприятий. В дальнейшем на основе введения методики оценки качества командирам представится возможность совершенствования тактики применения сил и средств при выполнении названной служебно-боевой задачи. В результате будут созданы условия для повышения качества боевой службы, следовательно, и уровень спокойствия граждан, общества и государства при проведении массовых мероприятий будет выше.

Список литературы

1. О массовых мероприятиях в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 8 нояб. 2011. № 308-З.
2. Бужор, В. Г. Особенности обеспечения общественного порядка и общественной безопасности при проведении массовых мероприятий / В. Г. Бужор, В. И. Гуцуляк // Закон и жизнь. – 2002. – № 3.
3. Пресс-релиз «10 ноября – всемирный день качества» / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosstandart.gov.by>.
4. Услуги населению. Термины и определения: ГОСТ Р ИСО 9001-2001 Системы менеджмента качества. Требования ГОСТ 30335-95/ГОСТ Р 50646-94.

*Сведения об авторе:

Курмашов Александр Николаевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 31.10.2012 г.

СОЦИОКУЛЬТУРНАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ – ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

УДК 378.1

В. Г. Липовка, М. К. Володина*

Формирование социокультурной компетенции, под которой понимается «комплекс знаний о ценностях, верованиях, поведенческих образцах, обычаях, традициях, языке, достижениях культуры, свойственных определенному обществу и характеризующих его», происходит в процессах социокультурного воспитания и обучения. Социокультурная компетенция формируется через развитие коммуникативной культуры посредством использования специально отобранного и структурированного содержания обучения, использование разнообразных методов и форм обучения с учетом коммуникативных потребностей обучаемых.

The formation of socio-cultural competence, which is defined as the «body of knowledge about the values, beliefs, behavioral patterns, customs, traditions, language, and cultural benefits inherent in a particular society and characterize it», occurs in the process of socio-cultural education and training. Socio-cultural competence is formed through the development of the levels of communicative culture through the usage of specially selected and structured educational content, using a variety of methods and forms of education with the communication needs of the trainees also in focus.

В настоящее время необходимость владения навыками и умениями устного и письменного иноязычного общения в личностных и профессиональных целях является общепризнанным фактом. Это связано с тем, что важную роль в наше время играют глобализация отношений в современном мире, расширение политических, экономических и личных межнациональных контактов, активизация диалога культур между странами. В качестве приоритетной задачи выдвигается требование обеспечить разноуровневую подготовку по иностранному языку, включающую в себя формирование у учащихся межкультурной коммуникативной компетенции, оптимизирующей эффективность контактов в конкретной сфере и ситуации общения и достижение определенных целей коммуникации.

В современной методике обучения иностранным языкам ряд авторов (Э. Г. Азимов, А. Н. Щукин и др.) трактует социокультурную компетенцию как «совокупность знаний, которая подразумевает знакомство обучаемых с национально-культурной спецификой речевого поведения и способностью пользоваться теми элементами социокультурного контекста, которые релевантны для порождения и восприятия речи с точки зрения носителей языка: обычаи, нормы, социальные условности, ритуалы, социальные стереотипы, страноведческие знания» [1, с. 203].

В публикациях последних лет (Н. Alihaus, R. Dietrich, G. Neuner, N. Ropers, И. Я. Лернер, В. И. Пассов и др.) подчеркивается мысль о необходимости прививать коммуникантам не только опыт поведения и мышления в другой культуре, но и опыт восприятия новой для них социокультурной среды [5, с. 137–139]. В процессе аккультурации становится актуальным воспитание у коммуникантов эмпатических способностей. В отличие от страноведческой мотивации, основу которой также составляет интерес к культуре страны изучаемого языка и уважение к его носителям, эмпатия получает более широкое толкование. Она связана с опытом эмоционально-оценочного отношения к лингвокультурному взаимодействию представителей различных национально-культурных общностей. Сформированность эмпатической способности означает готовность индивида к восприятию иного образа мыслей, умение соотносить свое и чужое.

Формирование межкультурной коммуникативной компетенции базируется на определенном содержании обучения иностранному языку в любом типе учебного заведения.

Основными компонентами этого содержания являются сферы, темы, ситуации общения, филологические и страноведческие знания, языковые навыки, речевые, учебные и компенсаторные умения и др. Страноведческие знания представляют собой важнейшую часть содержания обучения и рассматриваются современной наукой как составляющая культурологии [2, с. 8] и, соответственно, социокультурной компетенции.

Социокультурная компетенция выполняет не только коммуникативную функцию, но и функцию воздействия на поведение / действия, мысли, чувства и сознание иноязычных собеседников [3]. Одновременно формирование социокультурной компетенции приобщает к иной культуре, повышает общий уровень образованности у изучающего иностранный язык в процессе овладения новыми социокультурными знаниями, расширяет его кругозор, обеспечивает эффективное управление как его коммуникативной деятельностью, так и личным поведением учащихся.

Таким образом, овладение социокультурной компетенцией как компонентом межкультурной коммуникативной компетенции имеет чрезвычайно важное значение, оптимизируя достижение основных целей обучения иностранному языку [10].

В соответствии с определениями современных ученых [5, с. 6], социокультурная компетенция представляет собой знание учащимися «элементов национальной культуры, национально-культурной специфики речевого поведения носителей определенного языка и способность пользоваться теми элементами социокультурного контекста». Решение проблемы формирования социокультурной компетенции предполагает необходимость исследования отдельных составляющих данной компетенции с целью разработки эффективной технологии овладения ею учащимися.

В качестве одной из составляющих этого целого выступает безэквивалентная лексика, топонимика, имена собственные и др. Эти составляющие находят отражение в аутентичных текстах, которые содержат социокультурную информацию о стране изучаемого языка, ее культурных особенностях и традициях [5]. Визуальные источники информации способны служить в качестве опоры при формировании навыков и умений диалогической и монологической речи (в частности, тех из них, которые отражают быт и нравы носителей языка). Ту же роль играют видео-, диа- и аудиоматериалы в виде текстов социокультурной направленности, а также видео- и кинофильмы и др. Использование указанных материалов и усвоение содержащихся в них социокультурных знаний является обязательным условием достижения изучающими иностранный язык соответствующего уровня социокультурной компетенции, необходимой для межкультурного общения.

Умение эффективно пользоваться в коммуникации социокультурными языковыми знаниями означает, что говорящий на иностранном языке имеет социокультурную компетенцию. Социокультурная языковая компетенция – это социокультурные языковые знания, адекватно используемые в межкультурной коммуникации. Отсутствие навыков социокультурной компетенции значительно затрудняет коммуникацию. Многими признается сегодня, что главной причиной непонимания при межкультурном общении является различие национальных сознаний коммуникантов, а не различие языков.

Таким образом, становится очевидным, что социокультурная компетенция является сложным и трудоемким для овладения умением, требующим серьезной подготовки.

Выделение основных структурных компонентов этого сложного умения – это первая и очень существенная ступень в организации процесса обучения иностранному языку. Выделяются следующие компоненты социокультурной компетенции:

гуманистическая направленность и сформированность положительной установки личности по отношению к людям другой языковой культуры;

знание норм и правил речевого и неречевого поведения в иноязычной среде и умение применять их в конкретной социальной или профессиональной ситуации;

культура речи и знания невербальной системы общения;

знания психологических особенностей носителей языка и умение преодолевать психологические барьеры, возникающие в общении с ними.

Учеными разработаны требования к отбору материалов для формирования социокультурной компетенции. Такими требованиями являются следующие:

аутентичность используемых материалов;

информационная насыщенность;

новизна информации для адресата;

современность и актуальный историзм;

учет интересов учащихся (в том числе профессиональных), а также увлечений / предпочтений;

соответствие речевых высказываний литературной норме изучаемого иностранного языка;

страноведческая и лингвострановедческая значимость материалов;

отбор и использование учебных материалов в соответствии с уровнями владения иностранным языком учащимися (с учетом принципа доступности и посильности);

организация отобранных материалов в соответствии с принципами тематичности и нарастания сложности / трудностей [4, с. 8].

Особенно важным требованием, предъявляемым к отбираемым учебным материалам в целях подготовки по иностранному языку, является отмечаемая многими учеными информационная насыщенность этих материалов [1, 7, 9].

К важным особенностям используемых в разрабатываемой методике учебных материалов следует отнести их актуальность. Материалы способствуют социокультурному развитию учащихся, вовлекают их в диалог культур, т. е. благодаря им развиваются «готовность к осмыслению социокультурного портрета стран изучаемого языка, этническая, расовая и социальная терпимость, речевой такт и социокультурная вежливость, склонность к поиску ненасильственных способов разрешения конфликтов» [8].

Организация эффективного процесса обучения коммуникации на иностранном языке любого контингента учащихся предполагает, что формирование у них социокультурной компетенции возможно при условии учета их уровня владения умениями иноязычного общения на разных этапах обучения.

По мнению ученых, процесс овладения социокультурной компетенцией может быть подразделен на шесть этапов, по завершении каждого из которых учащиеся приобретают определенный уровень данной компетенции [10]:

первый этап (*начальный*) предполагает наличие у коммуниканта несколько ограниченных лингвистических возможностей, отсутствие знаний о простых социокультурных фактах и явлениях;

второй этап (*промежуточный*) призван обеспечить возможность общения в бытовых повседневных ситуациях с носителями языка – сформировать умения здороваться, выражать просьбу, спрашивать дорогу, покупать еду, пользоваться общественным транспортом; при этом в своей речи учащимися часто допускаются ошибки смыслового характера из-за непонимания и незнания культуры страны изучаемого языка;

третий этап (*продвинутый*) ставит задачу овладеть социокультурной компетенцией, позволяющей общаться в привычных повседневных ситуациях, понимать этикет независимо от стереотипов, заложенных собственной культурой, осуществлять вербально различные коммуникативные намерения (выражать просьбу, делать подарки, представлять собеседников, извиняться, делать покупки / продавать, обсуждать некоторые актуальные проблемы, личные интересы); однако на данном этапе существует риск возникновения серьезных недоразумений в процессе общения с иноязычным собеседником из-за отсутствия опыта коммуникации с носителями изучаемого иностранного языка;

четвертый этап (*высокий*) ставит задачу приобретения социальной и профессиональной компетентности на более высоком уровне – овладение литературным и разговорным стилями общения, невербальными средствами коммуникации, а также умениями адекватного восприятия культуры страны изучаемого языка, что позволяет избегать проблем в процессе коммуникации;

пятый этап (близкий к естественному) предполагает овладение социокультурной компетенцией на уровне, близком к естественному; это означает, что коммуникант может проявлять качественную осведомленность в разных сферах функционирования национальной культуры, умеет сравнивать факты и явления родной культуры с культурой страны изучаемого языка, использовать невербальные средства общения, понимать национальный юмор; при этом, однако, отсутствует понимание скрытого плана подтекста изучаемой культуры, что может также явиться причиной несостоявшейся коммуникации;

шестой этап (владение иностранным языком как родным) предполагает овладение социокультурной компетенцией на самом высоком уровне, что означает умение использовать иностранный язык как родной; при этом опасность того, что акт коммуникации не состоится, полностью исключается.

На первом и втором этапах завершается овладение учащимися элементарными основами социокультурной компетенции.

На следующих – втором и третьем этапах – осуществляется совершенствование приобретенной социокультурной компетенции, а также расширение объема составляющих коммуникативной компетенции в целом и социокультурной компетенции, в частности, в процессе реализации более сложных, определенных программными документами речевых актов.

Следующие – четвертый, пятый и шестой этапы – завершают формирование социокультурной компетенции, которая достигает уровня, достаточного для общения с носителями изучаемого языка.

Успешное достижение качественных результатов на каждом из рассмотренных этапов формирования социокультурной компетенции возможно при условии учета общедидактических и собственно методических принципов, лежащих в основе обучения иноязычному общению (ознакомление учащихся с определенными знаниями / сведениями и выполнение серий упражнений, направленных на овладение указанной информацией, а также речевыми навыками и умениями, адекватными целям межкультурного общения).

Во многом формирование социокультурной компетенции органично сливается с формированием умений общения на изучаемом иностранном языке и в целом реализует практические, образовательные, воспитательные, развивающие и стратегические цели, на достижение которых направлено обучение иностранному языку конкретного контингента учащихся.

Таким образом, формирование социокультурной компетенции при обучении иностранному языку обеспечивается сочетанием современных методов обучения, предполагающих большую долю самостоятельности учащихся с целью индивидуализации процесса обучения, и использованием аутентичных источников, имеющих социокультурную информацию. В современных условиях нельзя говорить о формировании полноценной личности специалиста без учета развития его социокультурной компетенции.

Список литературы

1. Азимов, Э. Г. Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам) / Э. Г. Азимов, А. Н. Щукин. – М.: Икар, 2010. – 448 с.
2. Верещагин, Е. М. Лингвострановедческая теория слова / Е. М. Верещагин, В. Г. Костомаров. – М.: Русский язык, 1980. – 345 с.
3. Воробьев, В. В. Лингвокультурология (теория и методы): моногр. / В. В. Воробьев. – М.: РУДН, 1997. – 330 с.
4. Гальскова, Я. Д. Теория обучения иностранным языкам: Лингводидактика и методика: учеб. пособие / Я. Д. Гальскова, Н. И. Гез. – М.: АCADEMIA, 2005. – 336 с.
5. Гусева, А. В. Формирование социокультурной компетенции в процессе обучения устному иноязычному общению (школа с углубленным изучением иностранных языков, французский язык): дис. ... канд. пед. наук / А. В. Гусева. – Москва, 2002. – 235 с.

6. Елизарова, Г. В. Культурологическая лингвистика: опыт исследования понятия в методических целях / Г. В. Елизарова. – СПб.: Бельведер, 2000. – 140 с.
7. Томахин, Г. Д. Фоновые знания как основной предмет лингвострановедения / Г. Д. Томахин // Иностр. языки в школе. – 1980. – № 4. – С. 84–88.
8. Сафонова, В. В. Изучение языков международного общения в контексте диалога культур и цивилизаций / В. В. Сафонова. – Воронеж: Истоки, 1996. – 237 с.
9. Щукин, А. Н. Обучение иностранным языкам: Теория и практика: учеб. пособие для преподавателей и студентов / А. Н. Щукин. – М.: Филоматис: Омега-Л, 2010. – 480 с.
10. Salins, J. B. Une introduction a l'ethnographie de la communication / J. B. Salins. – Paris: Didier, 1992. – 223 p.

*Сведения об авторах:

Липовка Вера Георгиевна,

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Володина Маргарита Кирилловна.

Лингвогуманитарный колледж учреждения образования МГЛУ.

Статья поступила в редакцию 04.04.2013 г.

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ПЕРИОД ДО 2020 ГОДА С УЧЕТОМ СЛОЖИВШЕЙСЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

УДК 316(075.8)

В. Г. Малащенко*

В данной статье автор анализирует демографическую ситуацию в Республике Беларусь и ее влияние на комплектование воинских формирований на период до 2020 г. Вносятся предложения для органов военного управления по минимизации негативных последствий дефицита призывных ресурсов.

In this article the author analyzes the demographic situation in the Republic of Belarus and its influence on recruitment of military units for the period up to 2020. Suggestions are made for the military authorities to minimize the negative effects of difitsit draft resources.

Проводя в жизнь концепцию развития воинских формирований Республики Беларусь, нельзя не учитывать демографические изменения, происходящие в нашей стране в течение последних двух десятилетий, характеризующиеся процессом депопуляции, т. е. естественной убылью населения, абсолютным уменьшением его численности.

За период с 1999 по 2009 г. население республики сократилось на 541 тыс. чел. (5,4 %) – с 10 045 тыс. до 9 504 тыс. Естественная убыль населения возросла с 32 тыс. чел. в 1995 г. до 51 тыс. в 2005 г. [2].

С 2010 г. в качестве призывного ресурса для прохождения военной службы по призыву и контракту, а также для поступления в Военную академию Республики Беларусь и на военные факультеты других высших учебных заведений начинает выступать поколение, родившееся в 90-е гг. XX в. (самый неблагоприятный в демографическом плане период).

Негативными факторами, характеризующими демографическую ситуацию в данный период, являются:

- снижение рождаемости. Начиная с 1991 г. коэффициент рождаемости в Беларуси неуклонно снижался вплоть до 2002 г.;

- увеличение смертности. За 1990–2005 гг. общий коэффициент смертности увеличился в 1,3 раза и составил 14,5 на 1000 чел. Основной особенностью этого негативного процесса является сверхсмертность мужского населения. Коэффициент смертности мужчин на 12 % превышает аналогичный показатель для женщин. Кроме того, следует учитывать, что часть населения ежегодно умирает в трудоспособном возрасте (в 2007 г. умерло 45,6 тыс. чел. – 37,7 тыс. мужчин и 7,9 тыс. женщин) [1];

- снижение количества заключенных браков и рост числа разводов (наибольшая интенсивность разводов наблюдалась с 1993 по 2000 г.) [1];

- увеличение количества детей, родившихся вне брака. Если в 1970 г. число детей, родившихся у женщин, не состоящих в зарегистрированном браке, составляло 7,3 % от общего количества рождений, в 2000 г. их доля составляла 18,6 %, то в 2005 г. она достигла 24,1 %. Иными словами, почти каждый четвертый ребенок в Беларуси рождается вне брака. Наибольшая интенсивность внебрачной рождаемости проявляется в возрастной группе женщин от 15 до 19 лет, а также среди женщин, проживающих в сельской местности [1];

- ухудшение здоровья населения и генофонда. Устойчиво растет заболеваемость почти по всем основным группам населения. За период с 1990 г. по настоящее время число лиц с психическими расстройствами увеличилось более чем в 2 раза, с болезнями нервной системы в 1,3 раза, число больных онкологическими заболеваниями возросло на 33 %. Серьезную тревогу вызывает тот факт, что многие заболевания, встречавшиеся раньше преимущественно у людей в среднем и пожилом возрасте, сейчас все чаще наблюдаются у молодежи [1]. Общий уровень инвалидизации в Беларуси составляет более 5 % от всего населения.

Республика Беларусь относится к странам с высоким уровнем самоубийств. Уровень

суицидов среди населения в 2003 г. достиг 35 случаев и в 2010 г. снизился до 26,1 на 100 тыс. чел. Наибольшее количество суицидентов наблюдается среди мужчин в возрасте от 30 до 45 лет. По оценочной шкале экспертов Всемирной организации здравоохранения, уровень самоубийств более 20 случаев на 100 тыс. чел. считается высоким или критическим.

За последние 15 лет Министерством здравоохранения зарегистрирован рост заболеваемости наркоманией среди населения в 4,8 раза, при этом отмечается снижение среднего возраста лиц, употребляющих наркотики.

С 2003 по 2009 г. уровень употребления спиртных напитков на 100 тыс. чел. увеличился в 1,3 раза. По официальным данным, в 2009 г. на учете в лечебно-профилактических организациях систем Минздрава Республики Беларусь состояли 185 589 чел., 25 % которых – молодежь до 21 года.

Уже в настоящее время существуют значительные трудности с укомплектованием личного состава частей и соединений призывниками. Если в 2009 г. количество юношей, достигших призывного возраста, составляло 67 тыс., в 2012 г. – 55 тыс., то к 2015 г. число мужчин, достигших восемнадцатилетнего возраста, сократится до 45 тыс. [5] (рисунок 1). На фоне общего уменьшения призывных ресурсов растет процент призывников, которые признаются непригодными к службе в Вооруженных Силах. В 2007 г. годными к военной службе были признаны 58,4 % призывников, в 2008 – 49 %, в 2010 – 40,5 % [4]. Из числа призванных в армию 45–47 % признаются годными к военной службе с ограничениями. Следовательно, здоровье только каждого четвертого призывника соответствует необходимым критериям.

Социально-демографический анализ военнослужащих, призванных на военную службу по призыву, постоянно проводимый сотрудниками научно-исследовательской лаборатории факультета внутренних войск, показывает тенденцию увеличения числа призывников из неполных семей и имеющих отсрочки от призыва по состоянию здоровья.

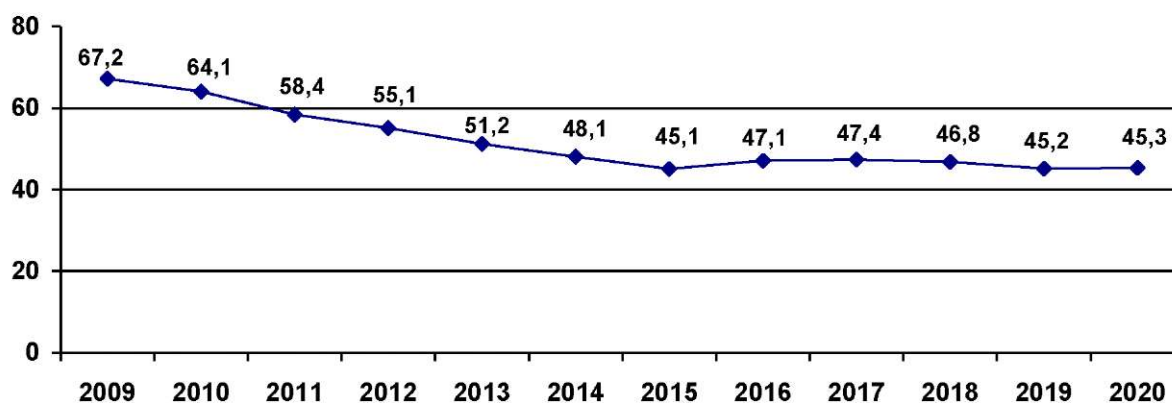


Рисунок 1 – Прогнозируемая численность мужчин, которым исполнится 18 лет в соответствующем году (тыс. чел.)

Наиболее критическая ситуация с призывом на военную службу ожидается к 2015 г. Согласно статистическим данным, увеличение призывных ресурсов прогнозируется с 2022 г., когда в призывной возраст вступит более многочисленное поколение, родившееся в начале нынешнего века. Следует также учитывать, что призывные ресурсы распределены неравномерно – наиболее многочисленной по количеству призывников является Гомельская область, которая больше всего пострадала от аварии на Чернобыльской АЭС (проживает 1435 тыс. чел.), самой малочисленной – Гродненская (1065 тыс. чел.) [5].

Внутренняя миграция в Республике Беларусь характеризуется уменьшением численности сельского населения и увеличением городского. За последние 10 лет доля городского

населения страны увеличилась с 69 до 74 %. Рост городского населения сопровождается его концентрацией в столице и областных центрах. Абсолютное увеличение численности в областных центрах за этот период составило 225 тыс. чел. (3 %). Численность жителей остальных городов и городских поселков сократилась на 122 тыс. чел. [2].

В сельских населенных пунктах проживает 2430 тыс. чел. (26 % от общей численности населения). По сравнению с данными предыдущей переписи доля сельского населения сократилась на 644 тыс. чел. (21 %), причем темпы убыли сельского населения постоянно возрастают. Так, если в 1989–1998 гг. сельское население ежегодно сокращалось на 43 тыс. чел., то в последующие 10 лет – на 64 тыс. чел. Наибольшими темпами снижалась численность сельчан в Витебской, Могилевской и Гродненской областях. Существенное сокращение сельского населения связано как с его миграционным оттоком в города, так и с особенностями возрастного состава (общий коэффициент смертности сельского населения в Беларуси в 2 раза превышает аналогичный показатель для городского населения) [4].

Социально-демографический анализ военнослужащих, проходящих военную службу по призыву во внутренних войсках, показывает, что до призыва 31 % из них проживали в сельской местности (доля населения 26 %), 39 % в районных центрах (доля населения 36,5 %) и только 30 % в столицах областей (доля населения 37,5 %) (рисунки 2 и 3).



Рисунок 2 – Распределение населения Республики Беларусь по месту проживания



Рисунок 3 – Распределение военнослужащих по месту проживания до прохождения военной службы по призыву во внутренних войсках

В то же время доля военнослужащих, проходящих военную службу по контракту, проживавших ранее в районных центрах и сельской местности, достигает 90 %.

Таким образом, сокращается население, являющееся основным источником призывных ресурсов для прохождения военной службы по призыву и контракту в воинских формированиях.

Внешняя миграция характеризуется выездом за пределы Беларуси представителей наиболее многочисленных национальностей, традиционно проживавших в Беларуси, в первую очередь, евреев, украинцев и русских. Количество белорусских граждан, выезжающих за рубеж, имеет тенденцию к увеличению (в 2004 г. выехали из Республики Беларусь 2 133 гражданина, в 2006 – 5 626, в 2008 – 8 145, в 2010 – 10 303). Одновременно миграционные процессы привели к росту (в разы) численности других национальностей. Так, по сравнению с данными переписи 1999 г. численность китайцев, постоянно проживающих на территории Республики Беларусь, выросла более чем в 20 раз, арабов – в 2,7 раза, туркмен – в 2,3 раза [2].

Включение мигрантов, не ассимилированных в наше общество, в воинские коллективы содержит высокую потенциальную социальную конфликтность.

В настоящее время в Республике Беларусь обучается 220 тыс. студентов-заочников, однако от 60 до 80 % от их состава в различных высших учебных заведениях (за исключением учебных заведений силовых структур и МЧС) составляют девушки [5]. Призыв на военную службу данной категории граждан незначительно улучшит комплектование воинских формирований военнослужащими по призыву на период 4–5 лет, но существенно не повлияет на число кандидатов для прохождения военной службы по контракту.

Во-первых, студенты-заочники и до отмены отсрочки проходили военную службу после получения высшего образования.

Во-вторых, студенты, как показывает опыт, не ориентированы на военную службу и будут использовать другие предоставленные законом отсрочки от призыва.

В-третьих, в Министерстве образования планируется значительное сокращение студентов-заочников в ближайшие годы.

Негативно на комплектование соединений и воинских частей боевого предназначения может повлиять предоставленное законом право на прохождение альтернативной службы.

Таким образом, с учетом уменьшения в ближайшее десятилетие призывных ресурсов, а также ухудшения состояния здоровья призывников будущие проблемы комплектования внутренних войск, являющиеся следствием современной демографической ситуации, очевидны и неизбежны. Ухудшение состояния физического и психического здоровья призывников может привести к значительному увеличению в подразделениях доли военнослужащих, требующих повышенного педагогического внимания, психологической помощи и контроля со стороны командиров.

Для минимизации негативных последствий сложившейся демографической ситуации и в целях качественного выполнения возложенных на воинские формирования задач в условиях дефицита призывных ресурсов целесообразно:

1. Рассмотреть вопрос об изменениях в организационно-штатной структуре соединений и воинских частей, органов военного управления, предусматривающих подразделения с более четким разграничением функций (служебно-боевого применения и тылового обеспечения), а также об использовании в подразделениях тылового обеспечения гражданского персонала, военных пенсионеров и женщин.

2. Проанализировать существующую систему популяризации службы в Вооруженных Силах, повысить ее эффективность в целях привлечения большего числа кандидатов для прохождения военной службы по призыву и контракту, а также поступления в Военную академию Республики Беларусь, в первую очередь, в крупных населенных пунктах.

3. Силовым ведомствам обсудить проблемы комплектования войск, организации служебно-боевой деятельности, боевой подготовки, проведения идеологической работы в условиях уменьшения призывных ресурсов; выступить с законодательной инициативой по рас-

ширению льгот и различного рода поощрений для военнослужащих, проходящих военную службу по призыву и контракту. (Положительным шагом в данном направлении будет закрепление на законодательном уровне предложенного Конституционным судом Республики Беларусь права выпускников высших учебных заведений, не отработавших установленный обязательный срок в связи с добровольным поступлением на военную службу по контракту, на освобождение от возмещения средств, затраченных государством на их подготовку.)

Список литературы

1. Бабосов, Е. М. Беларусь перед демографическими вызовами XXI в. / Е. М. Бабосов // Социология. – 2007. – № 3.
2. Зиновский, В. Н. Численность, размещение и состав населения Республики Беларусь по данным переписи населения 2009 г. / В. Н. Зиновский // Социология. – 2010. – № 3.
3. Сайт Министерства Обороны Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mod.mil.by.
4. Статистика Беларуси: ежеквартальное изд. Нац. статистич. комитета Респ. Беларусь. – 2009. – № 4.
5. Шахотько, Л. П. Комплексная оценка демографической ситуации в Республике Беларусь с позиции обеспечения устойчивого экономического роста / Л. П. Шахотько // Социология. – 2007. – № 3.

*Сведения об авторе:

Малашенко Вадим Григорьевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 26.12.2012г.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЫСШЕЙ ВОЕННОЙ ШКОЛЫ В XXI ВЕКЕ

УДК 355.23

Ю. А. Семашко, А. А. Говин, А. П. Вертинский*

В статье анализируется опыт подготовки военных специалистов в ведущих странах мира и СНГ. Рассматриваются общие тенденции развития военного образования.

The article analyzes the practices of military specialists' training in leading countries of the world and the CIS states. Tendences in the development of military education are under consideration.

Военно-политическая обстановка в мире подтверждает истину о том, что только наличие вооруженных сил, способных поддерживать военную безопасность государства и отвечающих современным требованиям безопасности государства, может служить надежным гарантом суверенитета и территориальной целостности любой страны.

Одним из главных условий предупреждения потенциальных угроз является создание национальной системы профессиональной подготовки военных кадров, которая бы отвечала требованиям времени, структуре, задачам Вооруженных Сил и реальным возможностям каждого государства.

В настоящее время в Республике Беларусь определены цели и официально приняты задачи по развитию Вооруженных Сил. Они связаны с обеспечением войск современным оружием, оптимизацией численности и совершенствования их структуры, что в свою очередь потребует повышения военно-профессиональных знаний, навыков и умений офицерского состава. Все это вызывает необходимость совершенствования структуры системы подготовки и повышения качества обучения в учреждениях военного образования. Опыт показывает, что недостатки и ошибки в военно-образовательной сфере видны не сразу, а их исправление потребует значительных временных и материальных затрат. Поэтому особое значение в условиях развития отечественной системы военного образования имеет исследование проблем управления и его эффективности. Это возможно при условии, что мы будем постоянно отслеживать тенденции в военном образовании и на основе их анализа определять возможные пути решения возникающих проблем.

В настоящее время на страницах зарубежной и отечественной печати ведется широкая дискуссия о проблемах военного образования и тенденциях его развития, а также поиск возможных путей ее совершенствования, повышения эффективности и качества.

Известно, что система военного образования – это инструмент формирования кадрового потенциала Вооруженных Сил и с ее помощью:

осуществляется подготовка, переподготовка и повышение квалификации офицерских кадров, научно-педагогических и научных работников высшей квалификации в условиях инновационного развития;

обеспечивается творческое переосмысление и развитие действующих механизмов развития вооруженных сил;

устраняются проявляющиеся препятствия теоретического и методологического характера.

Поэтому система военного образования должна:

с одной стороны, находиться в постоянном развитии, с упреждением реагировать на изменения в средствах и способах вооруженной борьбы, и учитывать таким образом возрастающие требования к офицерским кадрам в современных условиях;

с другой, следовать существующим традициям, обобщать и применять опыт, полу-

ченный в результате своего развития и совершенствования систем образования других стран.

Следовательно, основными факторами, оказывающими влияние на систему военного образования в современных условиях, являются:

сущность и содержание современной вооруженной борьбы;

существующие традиции и предшествующий опыт организации военного образования;

опыт подготовки военных специалистов в других странах;

инновации в образовании;

тенденции и перспективы развития системы высшего образования страны;

новые тенденции в управлении образованием, в том числе развитие системы менеджмента качества.

Исследованием установлено, что в современных условиях особую актуальность приобретает творческое использование в развитии военного образования исторического и международного опыта подготовки офицерских кадров.

Поэтому для проведения сравнительного анализа военного образования в современных условиях и выявления тенденций его развития обратимся к опыту некоторых зарубежных государств.

Так, подготовка офицерского состава для ВС США осуществляется в военно-учебных заведениях МО США, в гражданских университетах (подготовка офицеров для резерва всех видов ВС), путем прямого набора гражданских специалистов на офицерские должности.

Подготовка основной части офицеров, которые составляют ядро вооруженных сил, так называемых «карьерных» офицеров, начинается в трех училищах (академиях) – Сухопутных войск (Вест-Пойнт, шт. Нью-Йорк), ВМС и МП (Аннаполис, шт. Мэриленд), ВВС (Колорадо-Спрингс, шт. Колорадо).

По выпуску из училища присваивается воинское звание – второй лейтенант, среднее общее военное образование, степень бакалавра, гражданский диплом инженера: механика, электрика, строителя, по техническим средствам управления, в области компьютерных технологий и т. д.

Следующий этап подготовки офицеров ВС США – обучение офицеров в военных колледжах и школах, дающих высшее военное образование и степень магистра. Фактически эти учебные заведения – военная магистратура, а сами учебные заведения идентичны по статусу «военному университету». Для поступления в такие учебные заведения необходимо прослужить не менее 5 лет. Срок обучения 1–2 года (рисунок 1).



Рисунок 1 – Система подготовки офицерских кадров для ВС США

Очередной этап обучения для подготовки офицеров руководящего командно-штабного звена «дивизия – армейский корпус – командование вооруженными силами на ТВД» может осуществляться в четырех соответствующих командно-штабных колледжах: Объединенном ВС США, армии, военно-морском, военно-воздушном и двух зарубежных – в Королевском колледже обороны Великобритании и колледже Национальной обороны Канады. Обучение в двух последних колледжах за рубежом не накладывает ограничений по службе и даже поощряется в интересах тесного военного сотрудничества государств Атлантического геополитического центра. Набор в колледжи осуществляется в воинском звании «подполковник – полковник» с выслугой лет от 16 до 23 лет. Срок обучения – 1 год, по выпуску присваивается степень магистра.

Высший этап военного образования – это обучение офицеров руководящего и командно-штабного состава для Министерства обороны США, Комитета начальников штабов ВС США и штабов Объединенных командований ВС США и ОВС НАТО. Обучение производится в Университете национальной обороны (г. Вашингтон). Набор офицеров в звании «подполковник – полковник» в возрасте до 46 лет и гражданского персонала из военно-промышленного комплекса. Срок обучения – 1 год, по выпуску присваивается степень магистра и даже может быть защищена диссертация по представлению без окончания аспирантуры. Офицерам, окончившим Университет национальной обороны, может присваиваться генеральское звание.

Система военного образования в Германии имеет свои отличия и характеризуется высоко практической направленностью подготовки офицерских кадров.

Так, система подготовки офицерского состава бундесвера создана с учетом комплектования вооруженных сил кадровыми офицерами и включает определенные этапы обучения в войсках, школах родов войск, офицерских школах, военных университетах, курсах повышения квалификации и академии службы Генерального штаба бундесвера (рисунок 2).

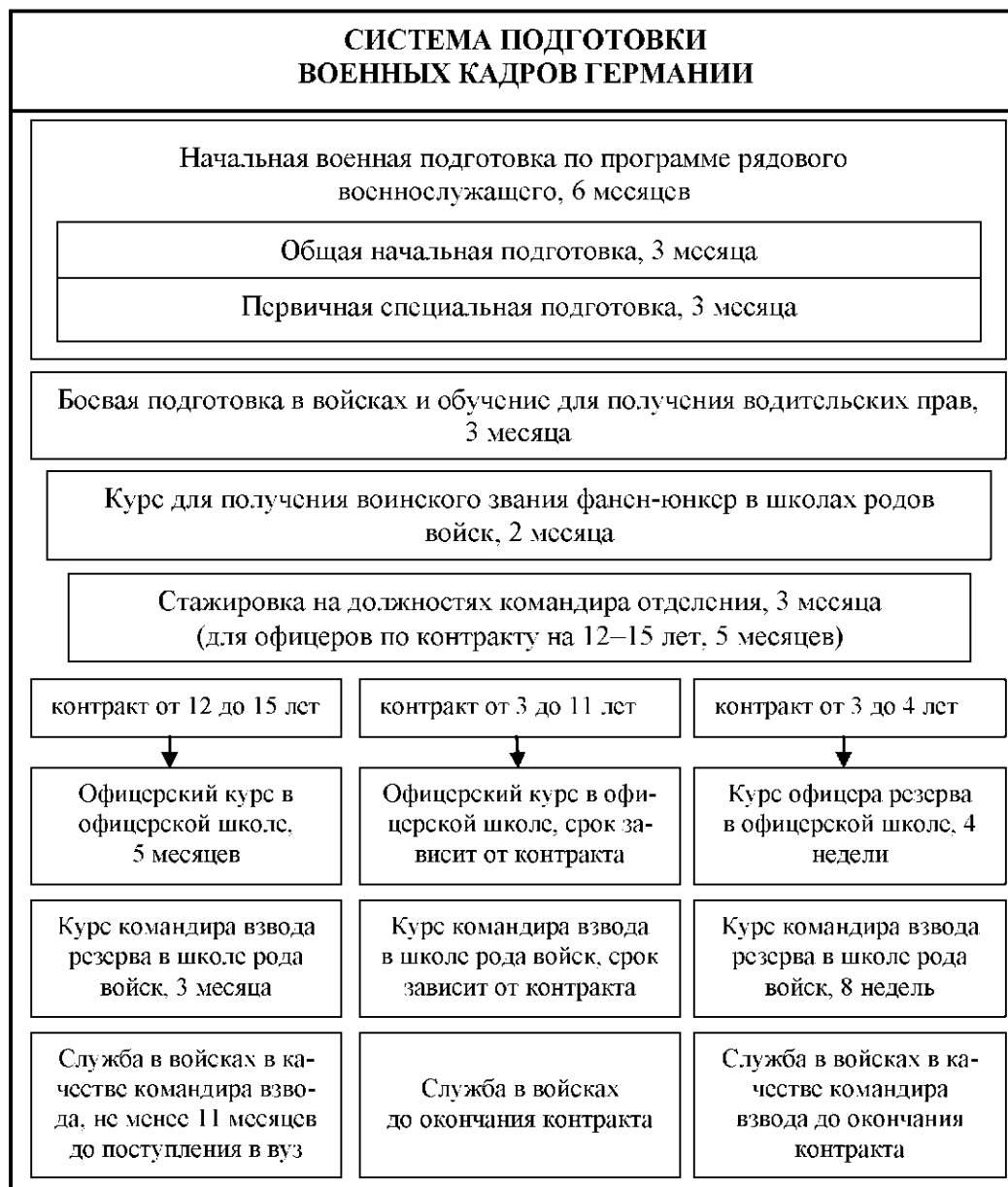


Рисунок 2 – Система подготовки офицерских кадров для ВС Германии

Механизм подготовки офицеров сухопутных сил включает следующие этапы:

тестирование гражданской молодежи, окончившей школу и желающей пополнить офицерский корпус бундесвера в отборочных центрах на предмет способностей к овладению профессией офицера конкретного вида вооруженных сил и рода войск;

последующий добровольный призыв на военную службу при успешном прохождении тестирования;

начальную военную подготовку в войсках по программе рядового военнослужащего (общая и специальная базовая подготовка в течение 6 месяцев);

курс подготовки для выполнения должности командира отделения с присвоением воинского звания «младший курсант» в школах родов войск (3 месяца) и последующей стажировкой в этой должности в войсках (3 месяца);

подготовку в школе рода войск (3 месяца), приобретение практических навыков по руководству взводом, присвоение звания «курсант»;

обучение в офицерской школе сухопутных сил вплоть до капитанской должности по разным направлениям сухопутных сил (6 месяцев), присвоение звания «старший курсант»;

службу в войсках в должности заместителя командира взвода (12 месяцев) с последующим присвоением воинского звания «лейтенант»;

практическую подготовку к выполнению обязанностей командира взвода (3 месяца).

Основу системы военного образования Вооруженных сил Франции образует сеть военных (около 80) и гражданских (более 50) учебных заведений, в которых осуществляется подготовка и переподготовка офицерского состава по всем военным специальностям (рисунок 3).



Рисунок 3 – Система подготовки офицерских кадров для ВС Франции

Кроме того, система военного образования готовит офицеров для иностранных армий, главным образом для государств бывших колоний на африканском континенте.

Первичные офицерские должности (командир взвода, роты и им равные) комплектуются за счет выпускников офицерских школ, резервистов, переводимых в кадровый состав, и унтер-офицеров, которым после сдачи соответствующих экзаменов присваивается офицерское звание. Подготовка младших офицеров осуществляется поэтапно: сначала в основных, а затем в обычных или специализированных школах родов войск и служб, где офицеры получают подготовку по выбранной военной специальности.

Школами основной подготовки (3 года обучения) являются специальная и общевоинская, а также одно из старейших военно-учебных заведений страны по подготовке специалистов широкого профиля – политехническая школа в Париже. По окончании школы основной подготовки курсантам присваивается воинское звание младший лейтенант, и они направляются для специализации в одну из обычных школ родов войск.

В Российской Федерации разработана и внедрена федеральная программа «Реформирование системы военного образования в РФ на период до 2010 г.», согласно которой:

проведена оптимизация сети военных вузов;

создана система военных учебно-научных центров видов ВС, включающих в свой состав военные академии, училища, НИИ и другие организации) (рисунок 4).

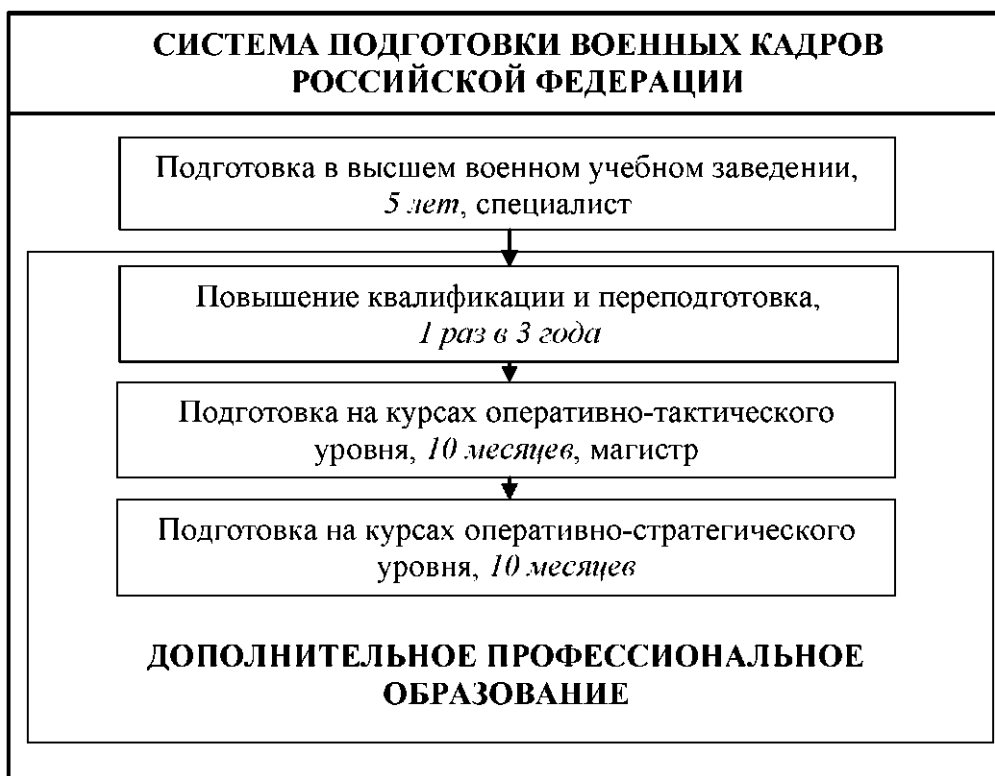


Рисунок 4 – Система подготовки офицерских кадров для ВС Российской Федерации

В настоящее время в системе российского военного образования имеется: 3 военных учебно-научных центра, 3 военных университета, в состав которых входит 25 филиалов вузов, и 3 НИИ.

В системе военного образования Российской Федерации имеется два уровня и курсовая подготовка:

специалист – для подготовки офицеров тактического звена управления (5 лет);

магистратура – для подготовки офицеров оперативно-тактического звена управления;

курсы переподготовки – 1 раз в 3 года и при назначении на должность.

Подготовка в магистратуре может также осуществляться и офицеров тактического звена по отдельным наукоемким специальностям, связанным с разработкой и эксплуатацией высокотехнологичных образцов вооружения и военной техники.

Военное образование в Украине получает развитие как составляющая государственной образовательной системы. Оно направлено на создание учебно-научных центров в Киеве, Харькове, Львове, Одессе, Севастополе, в состав которых войдут подразделения, обеспечивающие подготовку военных специалистов на должности лиц офицерского, сержантского и старшинского состава, и структуры, занимающиеся исследованиями в интересах Вооруженных сил Украины (ВСУ). К 2015 году их количество будет составлять девять, а с учетом подразделений высших учебных заведений – 24, число курсантов не превысит 5 % от всех военнослужащих.

Подготовка офицерских кадров оперативно-тактического и оперативно-стратегического уровня сосредоточится в Национальном университете обороны Украины, а обучением офицеров тактического звена в основном займутся военные вузы видов ВСУ. К 2020 году численность личного состава в высших военных учебных заведениях и воинских подразделениях гражданских вузов уменьшится с 1250 до 1100 человек, а к 2025 будет введено непрерывное ступенчатое обучение военных кадров с учетом специфики их службы и завершится оптимизация военных вузов.

Республика Казахстан высокими темпами осуществляет программу создания собственной системы военного образования, которая включает всю линейку подготовки военных кадров от лицеев (подобных нашему суворовскому училищу) до подготовки офицеров оперативно-стратегического звена управления.

Анализ приведенных систем военного образования показывает, что они имеют сходство и различия, характеризуются некоторой степенью консервативности, обусловленной установившимися историческими традициями и менталитетом государств:

в подавляющем большинстве стран офицеры-выпускники тактического звена имеют высшее общее образование и среднее военное (Англия, Франция, США, РФ, Украина, РК);

исключение составляет система подготовки офицерских кадров тактического звена Германии. Высшее гражданское образование в бундесвере получают лишь офицеры, заключившие контракт на срок свыше 12 лет.

Система оперативно-тактической и оперативно-стратегической подготовки офицеров также специфична для разных стран:

в Германии командно-штабная подготовка введена в сферу профессиональной переподготовки и повышения квалификации длительностью в несколько недель. Двухгодичную подготовку проходят лишь офицеры штабов оперативно-тактического и оперативно-стратегического звена управления;

в США офицеры оперативно-тактического уровня управления проходят подготовку в профессионально ориентированных магистратурах со сроками обучения 1–2 года, а офицеры оперативно-стратегического уровня в университете национальной обороны сроком 1 год;

в Украине и Казахстане офицеры оперативно-тактического и оперативно-стратегического уровня получают высшее военное образование в университетах национальной обороны;

в России подготовка офицеров оперативно-стратегического звена осуществляется в системе дополнительного профессионального образования с присвоением выпускникам дополнительной квалификации.

Вышеприведенный анализ систем подготовки офицерских кадров в зарубежных странах показывает, что каждая из рассмотренных стран создает и развивает собственную систему военного образования, позволяющую на основе существующих традиций и приобретенного опыта, анализа тенденций современного военного искусства вести подготовку высокопрофессиональных военных кадров.

Исследованием установлено, что несмотря на имеющиеся отличия в системах подготовки офицерских кадров для вооруженных сил в ведущих европейских странах, США, РФ,

Украины и Казахстана представляется возможным выявить общие тенденции развития высшей военной школы в XXI в.:

- улучшение отбора и расширение доступа в высшие военные школы, стабилизация их числа на современном уровне;
- дальнейшая оптимизация учебных структур и научных военных исследований;
- направленность на развитие творческого мышления;
- ориентация на индивидуализацию обучения (обучение кандидатов в офицеры в малых группах от 12 до 20 человек в соответствии со способностями обучающихся);
- использование инноваций в военно-педагогическом процессе;
- использование рейтинговой системы оценки знаний и зачетных единиц (накопление соответствующего числа баллов по каждой учебной дисциплине, начиная с первых дней учебы).

В Республике Беларусь также создана своя система высшего военного образования (система подготовки офицерских кадров), которая базируется на традициях и опыте подготовки военных кадров в СССР. Существующая система военного образования впитала в себя элементы образовательных моделей других стран и учитывает национальные особенности становления и развития отечественных Вооруженных Сил и высшей школы (рисунок 5).

Подготовка офицерских кадров строится по ступеням военного образования (среднее военное образование, высшее военное специальное образование, высшее военное образование, военно-научное образование). Каждая ступень заканчивается получением определенного уровня квалификации.

Действующая система военного образования интегрирована с национальной системой образования и в некоторой степени с системой военного образования РФ и стран-участниц ОДКБ.



Рисунок 5 – Система подготовки офицерских кадров для ВС Республики Беларусь

Сегодня подготовка военных кадров в республике осуществляется в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь», на семи военных факультетах и четырех военных кафедрах гражданских учреждений образования, где обучаются офицеры:

тактического звена управления – по **90** специальностям, направлениям и специализациям;

оперативно-тактического и оперативно-стратегического звеньев – по **8** специальностям;

офицеры запаса – по **48** специальностям.

В дополнение к этому офицерские кадры по отдельным малочисленным специальностям готовятся также и в военных учебных заведениях Российской Федерации.

Особый статус в системе военного образования занимает Военная академия Республики Беларусь, она является базовым научным и методическим центром в Республике Беларусь в сфере военного образования. На ее базе сформировано учебно-методическое объединение вузов по военному образованию.

В академии ведется подготовка офицеров тактического, оперативно-тактического и оперативно-стратегического звеньев управления по **26** специальностям и **45** специализациям. Активно осуществляется работа по открытию новых специальностей и специализаций.

Таким образом, на основании проведенного анализа систем подготовки офицерских кадров в современных условиях, выявленных при этом общих тенденций развития высшей военной школы в XXI в. авторами установлены основные направления повышения качества высшего военного образования, а также определены возможные пути совершенствования системы подготовки офицерских кадров в современных условиях. К ним следует отнести:

развитие системы довузовской подготовки и отбора абитуриентов;

совершенствование системы подготовки, отбора и повышения квалификации ППС;

оптимизация образовательных программ, содержания военного образования и структуры подготовки военных специалистов:

переход на дифференцированные сроки обучения;

разработка новых образовательных стандартов;

интеграция образовательных программ с вузами РФ и других государств – участников

ОДКБ;

совершенствование управления системой военного образования;

системы менеджмента качества образования (СМК);

рейтинговая оценка деятельности постоянного и переменного состава Военной акаде-

мии;

профессиональная деятельность постоянного и переменного состава академии;

мониторинг служебной деятельности выпускников;

структура УМО вузов по военному образованию;

совершенствование образовательного процесса;

сочетание теоретического и практического обучения;

тренажеры, обучающие программы;

инновации в обучении, в том числе УМК;

участие обучаемых в научно-исследовательской работе;

участие обучаемых в мероприятиях оперативной и боевой подготовки войск.

Совершенствование высшего военного образования в Беларуси продолжается в русле общеевропейского развития. Однако оно не может встать на путь простого копирования военных образовательных моделей других стран, не учитывая опыт, традиции, национальные особенности становления и развития отечественных Вооруженных Сил.

Список литературы

1. В ФРГ разрабатываются планы изменения структуры бундесвера // Зарубежное воен. обозрение. – 2004. – № 1.

2. Кудрявцев, Ю. Подготовка командных кадров к воспитательной деятельности в вузах США, ФРГ и Великобритании / Ю. Кудрявцев // Зарубежное воен. обозрение. – 2001. – № 5–6.
3. Береговой, А. Подготовка военнослужащих ВС Франции / А. Береговой // Зарубежное воен. обозрение. – 1999. – № 4.
4. Реформы белорусской армии проходят максимально прозрачно // Независимое воен. обозрение. – 2004. – № 48.

*Сведения об авторах:

Семашко Юрий Александрович,
Говин Андрей Александрович,
Вертинский Анатолий Петрович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 04.12.2012 г.

**Требования к статьям, представляемым для опубликования
в сборнике научных статей Военной академии
Республики Беларусь**

Представляемые в редакцию статьи должны быть актуальными по содержанию, раскрывать проблемы военной теории и практики, предлагать пути их решения. Они должны содержать элементы новизны и анализа, иметь практическую направленность. Автор несет ответственность за точность цитируемого текста и ссылки на источник, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации.

Текст статьи (в рукописном и электронном вариантах), выписка из протокола заседания кафедры (подразделения) с рекомендацией к опубликованию и экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати направляются в секретариат редколлегии.

Требования к оформлению статей:

объем – не более 5 страниц формата А4;

поля – 2 см;

текстовый редактор – Word for Windows версии 6.0 или выше;

высота символов – 12 pt, межстрочное расстояние – 1 интервал, шрифт – Times New Roman Cyr.

Текст статьи должны предварять: название (по центру, полужирный шрифт, прописные буквы); УДК (ниже заглавия слева); инициалы и фамилия автора (ниже заглавия справа); аннотация на русском и английском языках (курсив, 100–150 слов).

На обороте последней страницы статьи необходимо указать фамилию, имя, отчество автора, подразделение (организацию), номер контактного телефона.

Материалы, не отвечающие требованиям по содержанию и оформлению, редколлегией не рассматриваются.