

УДК.623.437.57:62-192

А.Е. Соловьёв

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛЕВЫХ УЗЛОВ СВЯЗИ

Рассматриваются вопросы моделирования состава комплектов средств снижения заметности для объектов, входящих в состав полевых узлов связи, с учетом условий и особенностей их функционирования, решаемых задач, значимости демаскирующих признаков, совместимости отдельных элементов, соответствия предъявляемым к ним тактико-техническим (оперативно-тактическим) требованиям.

Ключевые слова: *вооружение и военная техника, полевой узел связи, средства снижения заметности, демаскирующие признаки, технические средства разведки, высокоточное оружие, оптико-визуальный диапазон волн, инфракрасный диапазон волн, оптико-электронное подавление.*

Введение. *Цель работы* – разработать математическую модель для определения состава комплектов средств снижения заметности (ССЗ) для объектов, входящих в состав полевых узлов связи (ПУС), с учетом условий и особенностей их функционирования, решаемых задач, значимости демаскирующих признаков, совместимости отдельных элементов, соответствия предъявляемым к ним тактико-техническим (ТТТ) и оперативно-тактическим требованиям (ОТТ).

В настоящее время существует ряд действующих нормативных документов, определяющих требования по заметности к образцам вооружения и военной техники (ВВТ), в частности к объектам ПУС, а также к методикам контроля уровня их заметности, оценкам эффективности применения ССЗ, материалам и покрытиям [1, 2]. Анализ данных документов, результатов выполненных научно-исследовательских работ (НИР) по созданию малозаметной техники связи, особенностей применения ПУС в боевых условиях и их тактико-технических характеристик позволил уточнить систему требований и ограничений к комплектам ССЗ для объектов из состава ПУС.

Результаты анализа требований нормативных документов и значений характеристик заметности объектов ПУС показывают, что в настоящее время подвижные объекты связи, выполненные на базовых моделях военной автомобильной техники, не в полной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям по скрытности, особенно в оптико-визуальном (ОВ) и

инфракрасном (ИК) диапазонах электромагнитных волн, а имеющиеся табельные ССЗ ПУС не решают полностью задач комплексного противодействия техническим средствам разведки (ТСР) и наведению высокоточного оружия (ВТО) противника. Однако существует ряд способов и средств снижения заметности, совместное использование которых позволяет значительно повысить защищенность подвижных наземных объектов от обнаружения ТСР и наведения ВТО [3, 4].

В современных условиях ведения боевых действий только комплексное применение ССЗ позволяет ПУС обладать требуемым уровнем малозаметности в различных фоновых-целевых обстановках.

В настоящий момент актуальной задачей является обоснование состава комплектов ССЗ для объектов, входящих в состав ПУС, с учетом условий и особенностей их функционирования, решаемых задач, значимости демаскирующих признаков (ДП), совместимости отдельных элементов, которые могут войти в состав комплекта, рассматриваемого как система, а также соответствия предъявляемым к ним ТТТ и ОТТ.

Теоретические исследования. Существующие способы сравнительной оценки уровня качества ССЗ основаны на критерии “эффективность-стоимость” [5] и не учитывают многофункциональность, широкодиапазонность и другие положительные свойства перспективных ССЗ. Также имеют место методики сравнительной оценки образцов, использующие многокри-

териальный подход [6] и основанные на свертке локальных критериев в обобщенный (аддитивный) с учетом весового коэффициента значимости локальных критериев. Их основным недостатком является использование метода экспертной оценки, т.е. влияние субъективного фактора на результаты оценки.

Для комплексной сравнительной оценки уровня качества ССЗ был выбран способ, основанный на балльной оценке параметров.

Все образцы сравнения ССЗ по каждому из показателей свойств располагались в ряд (от высшего к низшему) и получали оценку в баллах b_{ij} , величина которой соответствовала месту i -го образца среди остальных по данному показателю свойства j . Образец, который имел высшее значение данного показателя, получал 1 (то есть первое место); образец, который имел низшее значение данного показателя, получал оценку m (последнее место), где m – количество образцов, выбранных для сравнения.

Если по какому-либо показателю свойства всех образцов одинаковые, то этот показатель не учитывался при определении коэффициентов сравнения.

Если из числа m образцов какое-то количество образцов p [от 2-х до $(m-1)$, то есть $2 \leq p \leq m-1$] имели одинаковые значения j -го показателя, то все p образцов получали по этому показателю равные оценки. При этом сумма этих оценок определялась как:

$$\sum_{k=1}^p b_{kj} = \sum_{k=1}^p a_{kj},$$

где a_k – балльная оценка (место) k – го образца (от 2 до $m-1$) по j -му показателю.

Каждый из образцов, имеющих одинаковые значения j -го показателя, получал балльную оценку с учетом выражения:

$$a_k = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p b_{kj}.$$

Аналогичным образом определялась оценка любого количества ССЗ, имеющего одинаковое значение показателя качества, из общего любого количества сравниваемых ССЗ, но при соблюдении условия: $2 \leq p \leq m-1$.

Комплексный показатель качества b_{ij} (коэффициент уровня качества) параметров каждого i -го образца определялся как среднее арифметическое результата суммирования всех оценок, полученных образцом по всем показателям j (сумма мест) по формуле:

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m,$$

где b_i – комплексный коэффициент уровня качества i -го образца;

b_{ij} – оценка в баллах (место) i -го образца по j -му показателю;

n – количество показателей, принятых для определения коэффициента уровня качества.

Очевидно, что комплексный коэффициент уровня качества $b_i = 1$ имел лишь тот образец, который занимал наименьшие места по всем показателям, принятым для сравнения.

Лучшим уровнем качества (наиболее эффективным) по результатам оценки обладал образец ССЗ с наименьшим значением комплексного коэффициента уровня качества.

Система показателей позволяет построить шкалу оценок и определить по ней место каждого сравниваемого образца.

Принцип построения шкалы оценок следующий: область значений разбивается на четыре непересекающиеся интервала длиной $(m-1)/4$ каждый:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } b_i \in \left[1; \frac{m-1}{4} + 1 \right] - \text{«отлично»}; \\ \text{если } b_i \in \left[\frac{m-1}{4} + 1; \frac{m-1}{2} + 1 \right] - \text{«хорошо»}; \\ \text{если } b_i \in \left[\frac{m-1}{2} + 1; \frac{3(m-1)}{4} + 1 \right] - \\ \text{«удовлетворительно»}; \\ \text{если } b_i \in \left[\frac{3(m-1)}{4} + 1; m \right] - \\ \text{«неудовлетворительно»}. \end{array} \right.$$

Оценка данным способом наглядна, проста и удобна, так как не требует обязательного использования коэффициентов весомости, но предусматривает выбор равнозначных свойств.

При выборе ССЗ и при формировании вариантов комплектов ССЗ для подвижных объектов ПУС учитывалась многокритериальность. В данном случае многокритериальность означает, что степень совершенства системы, качество выполнения ею своих функций зависят от нескольких выходных характеристик [7].

Для отыскания рационального решения многокритериальной задачи выполнялись следующие действия:

1) устанавливался перечень частных критериев данной системы;

2) находилась аналитическая связь между заданными ограничениями и частными критериями;

3) выбирался обобщенный критерий $F(X)$ (целевая функция) и устанавливалась аналитическая зависимость $F(X)$ от частных критериев;

4) находились такие значения частных критериев, которые удовлетворяли бы заданным ограничениям и вместе с тем доставляли максимальное значение обобщенному критерию.

При выполнении названных условий система является рациональной.

Векторная (многокритериальная) задача математического программирования, лежащая в основе математической модели, описывающей какой-либо технический объект, имеет вид:

$$X = \{x_h, h \in 1 \dots N\},$$

где x_h - значение h -технической характеристики (параметра);

N - множество значений индексов технических характеристик системы.

Математическая постановка задачи формирования вариантов комплектов ССЗ для подвижных объектов ПУС представлена следующим образом.

Рассматривалось множество D альтернативных вариантов исполнения каждого из технических средств, которые включались в состав комплекта [т.е. множество D - это совокупность отдельных элементов (образцов)]:

$$D_{lq} \in D, l \in 1 \dots L, q \in 1 \dots Q,$$

где l - тип средства;

q - вариант технического исполнения (модификация) средства данного типа.

Указанное множество D включало в себя два подмножества: подмножество существующих ССЗ D^s и подмножество перспективных ССЗ D^p , то есть:

$$D = D^s \cup D^p,$$

$$D^s \cap D^p = \emptyset.$$

Из числа средств, входящих во множество D , формировались усеченные подмножества D_t , которые включались в состав комплектов t - го типа (назначения):

$$D_t \subseteq D,$$

где t - тип комплекта, $t=1 \dots T$.

При этом выбранные по определенному критерию подмножества D_1, D_2, \dots, D_T множества D , представляли собой некоторое новое множество включенных в комплекты ССЗ D_v :

$$D_v = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_T,$$

$$D_v = D_v^s \cup D_v^p.$$

При этом множество D_v не может и не должно быть пустым (т.е. $D_v \neq \emptyset$).

Отбор элементов множества D для включения их в подмножество D_v с целью

последующего формирования комплекта ССЗ для ПУС и поиск при необходимости новых (недостающих) элементов подмножества D_v^p могут быть произведены с применением существующих методов логического анализа и синтеза новых технических решений (НТР), например параметрического синтеза технических объектов, а также интерактивных процедур поиска [8, 9]. Дальнейшее формирование варианта комплекта ССЗ может производиться с использованием различных математических моделей и методов.

Следовательно, из множества D_v требуется выбрать такое подмножество технических объектов $D_v^o \subset D_v$, чтобы по одному наиболее предпочтительному или нескольким критериям оценки рекомендуемый вариант технической системы был наиболее рациональным среди рассматриваемых вариантов. Указанная задача может иметь приемлемое решение только при наличии достаточной исходной совокупности элементов множества D_v^s и множества D_v^p .

Результаты предварительного анализа как отдельных ССЗ, предполагаемых для включения в состав комплекта ССЗ и имеющих различные технические характеристики и зачастую собственные критерии функционирования (эффективности), так и всей технической системы в целом с ее многими переменными и многочисленными связями между объектами показали, что формирование комплекта по какому-либо одному показателю весьма затруднительно и порою практически невозможно. Это обусловлено тем, что для различных случаев (вариантов) применения комплектов в боевых условиях не представляется возможным аналитически определить функциональную зависимость показателя эффективности функционирования системы (целевой функции) $F(X)$ от значений отдельных показателей x_h ввиду влияния большого числа факторов. Применение же методов математического моделирования боевых действий на одном из стратегических направлений неоправданно, т.к. характеризуется не только сложностью формализации моделей такого уровня, но и существенными затратами машинного времени для расчетов только по одному варианту построения комплекта ССЗ.

В этой связи наиболее целесообразными представляются использование нескольких локальных критериев оценки и применение методов векторной оптимизации. В качестве отдельных локальных критериев оценки качественного состава формируемой технической системы могут быть приняты показатели снижения заметности объекта в ОБ и ИК диапазонах длин волн.

В основу математической модели, которая позволяет описать комплекты ССЗ для ПУС как сложную техническую систему, положена векторная модель. В формализованном виде описание такой математической модели имеет следующий вид.

Предположим, что $X = \{x_h, h \in 1 \dots N\}$ – вектор переменных модели (изменяемых технических параметров системы), который принадлежит пространству N – мерных векторов (пространству переменных модели) $X \in R^N$.

Функциональная взаимосвязь переменных устанавливалась определенными соотношениями, на которые накладывались ограничения следующего вида:

$$G(X) \leq G, g_r(X) \leq g_r, r \in 1 \dots M, \quad (1)$$

где g_r – ограничивающие значения параметров (технических характеристик);

G – множество ограничивающих значений параметров;

$g_r(X)$ – значения технических характеристик, которые удовлетворяют требованиям;

$G(X)$ – множество значений технических характеристик, удовлетворяющих требованиям;

M – множество значений индексов ограничений, входящих в математическую модель.

Указанные соотношения (1) определяют допустимую область значений переменных S , включенную в пространство переменных $S \in R^n$.

Функционирование комплекта ССЗ направлено на выполнение определенных целей (критериев), функционально связанных с вектором переменных $f_k(X)$, $k \in 1 \dots K$. Данное множество критериев $f_k(X) \in F(X)$ представлялось в виде векторной целевой функции (векторного критерия):

$$F(X) = \{f_k(X), k \in 1 \dots K\},$$

где K – множество значений индексов критериев.

Предположив, что каждая из составляющих векторной целевой функции (каждый критерий) направлена на улучшение своего значения, задачу многокритериального выбора можно решить как задачу выбора допустимого вектора переменных X из области ограничений (1) по векторному критерию $F(X)$ и записать в следующем виде:

$$\max F(X) = \max \{f_k(X), k = 1 \dots K\},$$

$$G(X) \leq G.$$

Исходя из того, что множество точек S , определяющих допустимую область вектора переменных, является непустым множеством, можно записать:

$$S = \{X \in R^N / G(X) \leq G\} \neq \emptyset.$$

Отсюда следует, что имеется решение задачи по каждой составляющей векторного критерия $k \in 1 \dots K$.

Поскольку точки оптимума x_k^* , $k = 1 \dots K$, получаемые при решении задачи по каждому критерию $f_k(X) \in F(X)$ отдельно, не совпадают, решением задачи формирования комплекта ССЗ является компромиссное решение, удовлетворяющее всем составляющим векторного критерия.

Решение задачи векторной оптимизации требует предварительного рассмотрения вопросов нормализации локальных критериев, выбора принципа оптимальности, учета предпочтения (приоритета) критериев, вычисления оптимума и осуществляется различными методами [8 - 10]:

- основанными на свертывании критериев в единый;

- построенными на наложении ограничений на критерии (метод последовательных уступок, метод ведущего критерия);

- целевого программирования;

- основанными на отыскании компромиссного решения;

- интерактивного выбора рационального решения.

Для сокращения времени поиска рационального варианта и в то же время обоснованного формирования его качественного состава наиболее приемлемо в данном случае использовать сочетание различных методических подходов, в частности метода целенаправленного поиска компромиссного варианта для различных состояний функционирования объекта защиты, методики определения наиболее значимых ДП подвижных объектов ПУС и метода комплексной сравнительной оценки уровня качества ССЗ, основанного на критерии “эффективность – качество”.

Таким образом, анализ различных подходов к решению задач такого рода [7 - 10] показывает, что при формировании комплектов ССЗ ПУС необходимо:

- определить наиболее значимые ДП подвижных объектов ПУС;

- провести комплексную сравнительную оценку уровня качества ССЗ;

- сформировать достаточную исходную совокупность ССЗ;

- сформировать возможные варианты комплектов ССЗ;

- провести оценку соответствия вариантов ССЗ ТТТ и ОТТ по снижению заметности подвижных объектов из состава ПУС;

- осуществить при необходимости поиск НТР;

- провести оценку эффективности мероприя-

тий по снижению заметности подвижных объектов из состава ПУС;
 - осуществить формирование вариантов комплектов ССЗ с учетом основных состояний фун-

кционирования объекта защиты, значимости его ДП и комплексной сравнительной оценки уровня качества ССЗ.

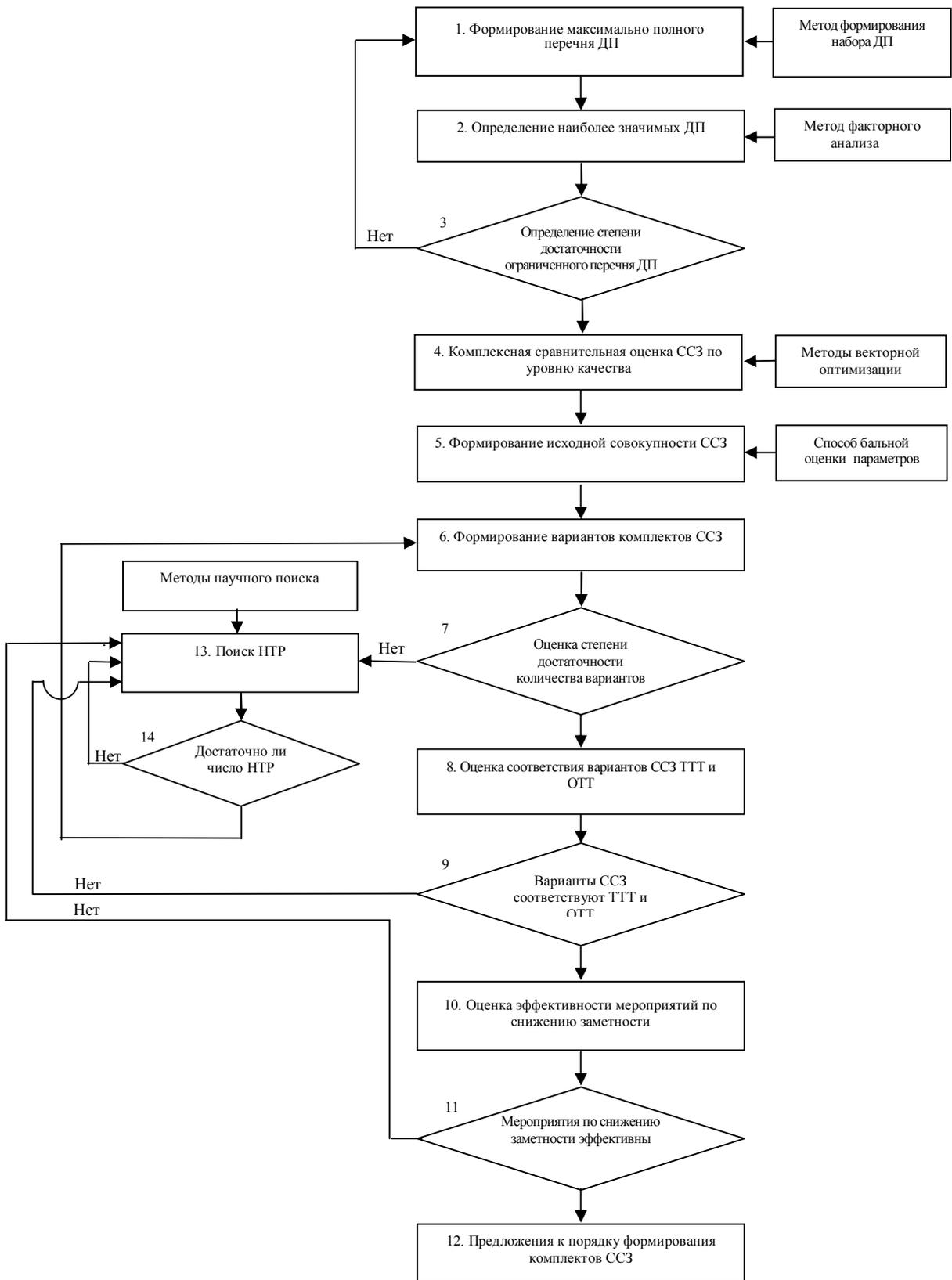


Рисунок - Блок-схема алгоритма формирования комплектов средств снижения заметности для подвижных объектов из состава ПУС

На рисунке представлена блок-схема алгоритма формирования комплектов ССЗ для подвижных объектов из состава ПУС. Согласно представленному методическому подходу первоначально определяется значимость ДП подвижных объектов ПУС, проводится комплексная сравнительная оценка уровня качества ССЗ, затем из исходной совокупности ССЗ D формируются возможные варианты построения комплектов ССЗ. Далее осуществляется переход либо к оценке соответствия вариантов комплектов ССЗ ТТТ и ОТТ по снижению заметности среди имеющихся, либо к поиску новых (дополнительных) технических решений. Проводится оценка эффективности мероприятий по снижению заметности и формируются варианты комплектов ССЗ.

Анализ номенклатуры существующих технических средств для формирования вариантов комплектов ССЗ ПУС в интересах последующего выбора из них рационального варианта показывает, что в настоящее время существует ограниченное количество технических объектов (средств), которые бы в полной мере отвечали предъявляемым к ним, а также к совокупности указанных средств, то есть комплекту, ТТТ и ОТТ.

Тем самым при формировании исходной совокупности ССЗ (множества $D = D^s \cup D^p$) может возникнуть ситуация, когда предложенный алгоритм решения задачи выбора состава комплектов ССЗ не отвечает требованиям достаточности для проведения дальнейшей оценки вариантов с использованием методов векторного анализа (количество исходных вариантов менее двух) либо когда количество таких вариантов так мало, что невозможно говорить об эффективном выборе рационального варианта.

В этом случае возникает необходимость либо пересмотра первоначально определенных требований к ССЗ в сторону их «смягчения», либо поиска (синтеза) НТР ССЗ, конструктивный облик которых хотя и не определен, но параметрические характеристики которых бы удовлетворяли заданным требованиям, а эффективность их была бы не ниже, чем у образцов, выбранных в качестве прототипа.

Как правило, выбирают второе направление, так как требования зачастую не подлежат пересмотру. В этой связи возникает необходимость поиска НТР, характеристики которых соответствовали бы наиболее эффективным образцам указанных средств или были лучше.

Экспериментальные исследования. С помощью рассмотренной модели был подобран наиболее рациональный вариант комплекта ССЗ для автомобиля КамАЗ-43114. С учетом полу-

ченных результатов эффективности ССЗ, их массогабаритных и эксплуатационных характеристик в состав рационального комплекта ССЗ вошли:

- маскировочный комплект типа "Терновник-Р" в виде чехла;
- комплект теплоэкранирующих устройств;
- фальшборта задней колесной тележки (для снижения теплового фона шин колес);
- система выпуска отработавших газов со сниженной тепловой заметностью;
- теплозащитная выпускная труба отопительно-вентиляционной установки;
- двухрежимные фары с режимами противотуманного и светомаскировочного освещения.

Экспериментальные исследования по оценке эффективности предложенных и штатных ССЗ показали, что предложенный комплект ССЗ для автомобиля КамАЗ-43114 снизил показатели заметности:

- в ОВ диапазоне:
 - яркостного контраста объектов с фоном в среднем на 5-8 %;
- в ИК диапазоне:
 - среднегабаритного теплового контраста в участке 3-5 мкм на 54 %, в участке 8-14 мкм на 74 %;
 - температурного контраста высоконагретых зон в участке 3-5 мкм на 48 %, в участке 8-14 мкм на 56 %.

Заключение. Предлагаемый в статье математический аппарат позволяет выбрать наиболее рациональный вариант комплектов ССЗ для подвижных объектов ПУС, учитывающий условия и особенности их функционирования, решаемые задачи, значимость демаскирующих признаков, совместимость отдельных элементов, соответствие предъявляемым к ним ТТТ и ОТТ.

Библиографический список

1. ОТТ 9.1.4. – 87. Кузова-фургоны для комплектации средств технического обеспечения войск. Общие технические требования. – 21 НИИИ МО РФ, Инв. № 1/3098, 1996. – 12 с.
2. ОТТ 2.1.33. – 96. Кузова контейнеры многоцелевого назначения. Общие технические требования. – 21 НИИИ МО РФ, Инв. № 1/6295, 1996. – 25 с.
3. Разработка военно-технической концепции развития перспективных систем вооружения РЭБ видов ВС в интересах защиты военной техники и объектов от разведки и ВТО (в части ВАТ): Отчет о НИР "Каскад-97" (итоговый) / 21 НИИИ МО РФ; отв. исполн. В.А. Новиков; соисп. С.А. Тарасов, Н.А. ПANOVA. – Бронницы, инв. № 1/6454. – 1999. – 120 с.
4. Исследования по формированию технического облика малозаметной ВАТ, структуре и составу типовых комплексов ССЗ: отчет о НИР "Идиома-1" (первый этап) / ЦНИИ РЭС; отв. исполн. В.И. Ша-

пошников; соисполн. В.Н. Егоров, С.А. Тарасов, В.А. Новиков и др. – М., инв. № 1/8475, 1999. – 208 с.

5. Исследование военно-технических вопросов при создании разведывательно-сигнализационных средств: отчет о НИР "Коммюнике" / в/ч 63539, инв. № 1/2266, 1985. - 52 с.

6. Теоретические и экспериментальные исследования по определению путей снижения заметности ВВТ в рабочих диапазонах комплексов разведывательно-сигнализационных систем, радиолокационных станций в режиме СДЦ и ИК-тепловом диапазоне: отчет о НИР "Негоциантка" (итоговый)/ в/ч 63539, инв. № 1/5639, 1992. - 118 с.

7. *Брахман Т.Р.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.

8. *Карлин С.* Математические методы в теории игр, программировании и экономике. – М.: Мир, 1964. – 837 с.

9. *Машунин Ю.К.* Методы и модели векторной оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 144 с.

10. *Статников Р.Б., Матусов И.Б.* Многокритериальное проектирование машин // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Математика, кибернетика. – М.: Знание, 1989. – № 5. - 48 с.