

Prospects for the Use of a Direct Drive when Upgrading an Antenna Control System of a Ground Artillery Reconnaissance Station

O. Kuznyetsov

The article proposed to use a direct drive ideology when upgrading an antenna control system of a ground artillery reconnaissance station. The features of this approach were analyzed, in particular the use of the torque motors for direct drive and requirements for them.

Key words: antenna control system electric drive, guidance system, gearless drive, torque electric motor.

УДК 621. 396. 96

Матюхин Н.И., Набока А.М.

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЛОКАТОРОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПОТОКА ОБЪЕКТОВ В СИТУАЦИЯХ КОНФЛИКТА, И ПОСТРОЕНИЕ НА ИХ ПРИМЕРЕ СИСТЕМНОЙ ТЕОРИИ РАДИОЛОКАЦИИ

Показано, что системное проектирование и системное военно-техническое проектирование радиолокационной системы сводится к построению ее многомерной системной математической модели и к разработке методов полного системного описания - к решению задач синтеза, анализа, управления и взаимодействия с внешней средой. Поэтому такие уравнения составляют основу системной теории радиолокации. Функциональные уравнения описывают состояние и скорость изменения состояния системы, которые связаны между собой как первообразная и производная по времени. Для простых одномерных систем найдены функциональные уравнения, то есть, решены задачи синтеза, анализа, управления и адаптации. Для сложной системы, которой является система радиолокации, поиск функциональных уравнений и уравнения состояния является значительной научной проблемой, которую не удастся решить с момента возникновения радиолокационной системотехники. По сути, проблема сводится к определению понятия состояния системы, которая объединяет все системные параметры самой системы и внешней среды. В работе вводится новое понятие состояния системы, которое определяет время действия системы, требуемое для выполнения своих функций. На этой основе строится системная теория радиолокации. Построить теорию на абстрактном уровне невозможно, поэтому она строится на примере наиболее сложной перспективной системы, технический облик которой также определяется.

Ключевые слова: системная теория радиолокации, динамическая радиолокационная информационная система дальнего обнаружения, системотехника радиолокации, двустороннее конфликтное управление, дифференциальная игра "наблюдение-противодействие".

Постановка задачи

Работа относится к области радиолокационной системотехники (РЛСТ) и посвящена:

1) исследованию перспективных возможностей радиолокации и определению технического облика информационной системы нового поколения – многопозиционной пространственно-когерентной радиолокационной или радиолокационной, на примере которой решается научная проблема;

2) разработке системной теории радиолокационных систем, которая в первом приближении

может рассматриваться как системная теория радиолокации;

3) разработке методических основ системного проектирования (СП) и системного военно-технического проектирования (СВТП) динамических радиолокационных систем.

Радиолокационная системотехника является научным направлением и учебной дисциплиной, в которой изучаются вопросы развития радиолокации, системного проектирования новых систем и совершенствования существующих локаторов. СП и СВТП состоит в описании системы, по которому ее можно построить. Описание системы может быть:

содержательным (качественным), основанным на инженерной интуиции и соображениях здравого смысла; эвристическим, основанным на построении одномерной системной математической модели, и строго математическим, основанным на построении многомерной системной математической модели. СП и СВТП является начальным, предварительным или эскизным проектированием. Оно проводится в НИИ промышленности и НИИ вооружения и сводится к определению закономерностей создания и поведения системы, к определению ее технического облика и к разработке методов полного описания системы – синтеза, анализа, управления и взаимодействия. Технический облик системы определяют: принципы построения, структура, способы обработки сигнала, способы управления состоянием, способы взаимодействия с окружением и системные показатели качества (общесистемные характеристики и текущие ГТХ). При СВТП важное место отводится вопросам взаимодействия системы с внешней средой в форме конфликта и взаимной адаптации. Конфликт определяют стороны с противоположными интересами, неизвестным ресурсом, неизвестными стратегией и тактикой. В состав системной теории радиолокации входят: методологические аксиомы, новый объект исследования (новая система), новые методы исследования (методы синтеза, анализа, управления и взаимодействия), реализация теории (научные и методические основы системного проектирования). Основу системной теории составляет системный формальный язык (СФЯ) описания системы. СФЯ описания включает: функциональные уравнения системы, отражающие закономерности ее создания и поведения (уравнения состояния, динамики, конфликта); идеализированные системные математические модели состояния, поведения и взаимодействия; методы решения задач полного описания (синтеза, анализа, управления и взаимодействия).

В общей теории систем (ОТС)) делалась попытка построить системную теорию целенаправленных систем на абстрактном уровне для всех видов систем. Но в силу сложности, многообразия протекающих в системах и во внешней среде процессов и конструктивных особенностей не удалось решить задачу синтеза. В математической теории систем (МТС) решена задача управления (Понтрягин Л. и др.) и игрового управления (Красовский Н.Н.), однако не разработаны методы отыскания уравнений динамики и конфликта, которые необходимо задавать при математической постановке задачи оптимизации. Поэтому рассматриваются частные случаи отыскания уравнения динамики, когда используется второй закон Ньютона, связывающий

силу, массу и ускорение. Других методов пока нет. В МТС также описываются системы на уровне устройства (исследование операций, теория массового обслуживания), когда рассматривается одна операция и определяется общесистемная характеристика, зависящая от одного системного параметра, а остальные параметры (например, в виде отношения сигнал/шум) фиксированы. Поэтому в работе системная теория строится для одного вида систем – радиолокационных. Для обеспечения общности теории система выбирается наиболее сложного перспективного класса. Поэтому исследования в работе проводятся одновременно по трем направлениям: определение технического облика новой системы, разработка СФЯ и разработка методических основ СП и СВТП. Полное описание системы – решение задач синтеза, анализа, управления и взаимодействия – составляет научную проблему. Проблемную задачу определения технического облика новой системы составляют методы развития радиолокации, позволяющие решать проблемные задачи современной и перспективной радиолокации. Проблемной задачей разработки методических основ системного проектирования является обоснования требований к системной теории по полному и многомерному описанию системы.

В НИИ промышленности и НИИ вооружения на этапах поисковых НИР и предпроектных исследований и непосредственно при написании методик системного проектирования (оценки перспектив развития радиолокации, сравнения новых локаторов, оценки военно-экономической целесообразности создания новой системы, обоснования путей развития радиолокации, проведения полигонных испытаний опытных образцов локаторов и др.) инженеры-исследователи и конструкторы испытывают острую потребность в системной теории радиолокации, которая должна позволить: описать закономерности создания и поведения новой системы, построить ее многомерную системную математическую модель, уточнить технический облик системы, разработать методы полного описания системы и, в частности, объединить системные параметры самой системы и внешней среды (синтез), определить их оптимальные значения (управление), описать процессы, которые протекают в системе, во внешней среде и при их взаимодействии, точно и достоверно оценить системные показатели качества (анализ).

В литературе отмечается, что «радиолокационная системотехника оказалась не состоятельной при создании собственного системного математического и методического аппарата. Создать теорию не удалось. Ее место заняла одномерная эвристическая

модель. Создание теории требует длительной и кропотливой работы и новых идей, которые трудно воспринимаются» (Конторов Д.С.). Поэтому теория радиолокации стала развиваться по отдельным устройствам, а на системном уровне возник своеобразный кризис.

В ОТС, МТС, РЛСТ проблема создания системной теории сложных систем является общей, фундаментальной и длительное время не решается. Сущность проблемы состоит в том, что трудно объединить большое число системных параметров и отыскать многомерный функционал, который отображает пространство системных параметров в пространство состояний. По существу, проблема сводится к определению понятия состояния системы, которое является общесистемной характеристикой, функционально объединяющей все системные параметры самой системы и внешней среды при выполнении системой своих функций – радиолокационных операций. Производная от уравнения состояния определяет скорость изменения состояния. Она определяет уравнение динамики. Уравнение, описывающее скорость изменения состояния системы при изменении системных параметров системы и внешней среды с противоположными интересами, называется уравнением конфликта. Инженеры-системотехники, не владея разделами математики университетского курса, затрудняются в составлении функциональных уравнений. Математики, наоборот, обладая широким кругозором по отдельным разделам прикладной математики, затрудняются в анализе процессов, которые протекают в системе, и в составлении функциональных уравнений, которые в концентрированном виде отражают закономерности создания и поведения системы. Это противоречие породило проблему полного и точного описания сложных систем, которая не решается более 50 лет с момента появления системотехники.

В радиолокационной системотехнике делалась попытка построить системную теорию на примере многофункционального локатора дальнего обнаружения, но не удалось подобрать подходящий математический аппарат для решения задачи синтеза. В статистической теории радиолокации задача синтеза решена (Ширман Я.Д., Тартаковский Г.П., Кузьмин С.З. и др.), но на уровне отдельных устройств пространственной, временной, траекторной доработки информации. При этом применяется байесовский подход, позволяющий связать апостериорную вероятность с априорной и отношением правдоподобия. Байесовский подход позволяет описать систему на языке вероятностей. В принципе он позволяет отыскать общесистемную характеристику, которая удовлетворяет требованиям

системности – объединяет все устройства и их системные параметры, включая и время действия, является главным системным показателем качества, определяет концепцию системы (цель системы) и др. Но работ в таком системном плане пока нет. Он применяется пока для описания отдельных устройств. Поэтому теория статистических решений и статистическая теория радиолокации пока не позволяют охватить проблему системного описания сложной системы. В работе применяется новый подход к описанию системы, который позволяет отыскать общесистемную характеристику в зависимости от всех системных параметров и удовлетворяющую требованиям системности. Работа нацелена на разработку научных и методических основ системного проектирования. Научные основы включают разработку системной теории и решение задач синтеза, анализа, управления и взаимодействия, а методические основы включают только задачи анализа системы, уже описанной в теории системы. Но в методических основах предъявляются требования к теории. Они связывают теорию и ее практическое применение. Исследования в работе проводятся по схеме: определение технического облика системы, разработка методических основ системного проектирования, разработка системной теории. Таким образом, в работе выполняются общие требования к разработке всякой теории – теория включает: новый объект исследования (технический облик), новые методы исследования (синтез, анализ, управление и взаимодействия), реализацию теории (анализ системных показателей качества при разработке методик системного проектирования).

Целью статьи является исследование принципиальных возможностей создания радиолокационных информационных систем широкого назначения и построение на их примере системной теории радиолокации.

Основная часть

1. Технический облик системы [1].

Методологические аксиомы построения систем и системной теории определяют, что всякая система создается для взаимодействия с вполне определенной внешней средой и определяет ее концепцию и технический облик. Информационная система (ИС, S_u) и ее внешняя среда, действующая по входу (S_v) и выходу (S_w), рассматриваются как три вида систем (рис. 1), которые находятся в диалектическом единстве, взаимодействуют в форме конфликта и взаимной адаптации, постоянно развиваются и совершенствуются и требуют согласования по состоянию и поведению.

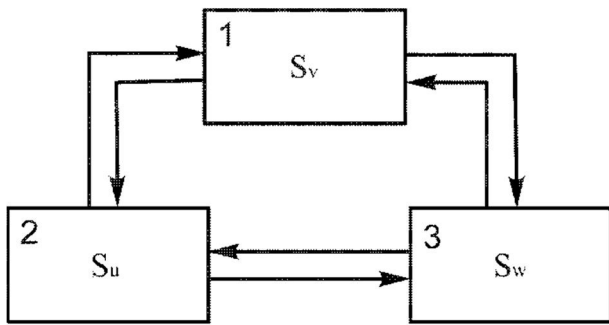


Рис. 1. Взаємодія системи з зовнішнім середовищем. 1 – зовнішня середовище, що діє на вхід системи, S_v ; 2 – інформаційна система, S_u ; 3 – зовнішня середовище, що діє на вихід системи, S_w

Согласование по проблемным задачам, выполняемым функциям и качеству допускает применение грубых эвристических методов описания и построения одномерных моделей системы, а согласование по системным параметрам и их предельным значениям (ресурсу) требует построения многомерной системной модели, которая составляет основу системной теории. Поэтому рассматриваются три вида согласования:

1) согласование по системным параметрам системы в каждом периоде локации при естественном изменении дальности до наблюдаемого объекта (тактика управления);

2) согласование по системным параметрам системы в каждом периоде локации при изменении системных параметров внешней среды (тактика управления);

3) согласование по предельным значениям системных параметров системы (по ресурсу) на протяжении всего сеанса наблюдения в процессе имитационного моделирования при системном проектировании (стратегия управления).

По степени согласования с внешней средой локаторы делятся на классы. При этом отличительными признаками являются: поведение (статические, динамические, адаптивные), дальность действия, излучаемая мощность, размеры апертуры на передачу и прием, пространственное разрешение, число выполняемых функций (однофункциональные, многофункциональные), число антенных позиций, число линий параллельного обслуживания объектов, плотность потока обслуживания. В каждом отличительном признаке по диапазонам изменения параметров радиолокационные локаторы делятся на подклассы: малой (50 км), средней (500 км), большой (5000 км) и сверхбольшой дальности; малой (10^2 - 10^3 Вт), средней (10^4 - 10^5 Вт), большой (10^6 - 10^7 Вт), сверхбольшой излучаемой мощности; с малоапертурной ($10^2 \lambda$), среднеапертурной ($10^3 \lambda$), крупноапертурной ($(10^4 - 10^5) \lambda$) и сверхкрупноапертурной ($(10^6 - 10^7) \lambda$) антенной; с малой ($0,1 \text{ с}^{-1}$), средней (1 с^{-1}), большой (10 с^{-1}) и

сверхбольшой (100 с^{-1}) плотностью обслуживания объектов; с низкой (100 м), средней (10 м), высокой (1 м) и сверхвысокой (1 м) пространственной разрешающей способностью.

По способности анализировать состояние внешней среды и изменять свое состояние радиолокационные системы подразделяются на статические, динамические и адаптивные. Для всякого локатора основной задачей является определение во времени и в пространстве местоположения объекта и его отражающих элементов («блестящих точек»). Поэтому пространственное разрешение является важным признаком при классификации локаторов и определении путей развития радиолокации. На этапе эвристического системного проектирования для предварительного определения технического облика системы, выбора путей развития радиолокации и анализа системных показателей качества удобно использовать три обобщенных системных параметра: пространственное разрешение ($\delta l_\alpha, \delta l_\beta, \delta l_R$), энергию зондирующего сигнала ($\mathcal{E}_{\text{зона}}$) и время действия

системы ($T_z(u, v, t)$ соответственно при выполнении отдельных операций или полной совокупности операций в многофункциональном локаторе. Они связаны приближенным соотношением ($T_z(u, v, t) = \kappa \frac{\delta l_\alpha, \delta l_\beta, \delta l_R}{\mathcal{E}_{\text{зона}}}$). Ниже оно будет

определено более строго. Это соотношение позволяет ввести в описание системы время ее действия, получить затем полное уравнение радиолокации, определить пути развития радиолокации, определить предварительно облик системы, способной решать проблемные задачи современной и перспективной радиолокации, определить схему развития локаторов дальнего обнаружения. Так, в зависимости от степени согласования обобщенных системных параметров с внешней средой условно можно определить следующую схему развития локаторов. В локаторах с зеркальными антеннами дальность до объекта может изменяться на порядок. Соответственно должны изменяться системные параметры и ресурс системы. С появлением удаленных объектов дальность стала изменяться на 2 порядка. Появились локаторы с большими щелевыми антеннами и фазоманипулированными сигналами. Системные параметры в локаторе при этом не изменяются. Ресурс оказывается также не согласованным. С появлением потоков объектов и умеренных помех локатор оказался перегруженным по входящему потоку. Дальность до объекта стала изменяться на 2 порядка. Стали создаваться многофункциональные (МФ) локаторы. Параметры локатора могут

изменяться перед началом радиолокационной операции (дискретно-статическая система). С появлением больших потоков и сильных помех дальность стала изменяться на 3 порядка. Потребовалось изменение системных параметров в каждом периоде локации с тем, чтобы повысить быстродействие и обеспечить требуемое управление состоянием и ресурсом системы. Так, станции активных помех (САП), находящиеся в верхней полусфере и одновременно действующие по всем лепесткам диаграммы направленности антенны, создают совокупный мешающий сигнал (лепестковый фон), уровень которого на 2-6 порядков выше уровня собственных шумов приемника. Для наблюдения объекта на фоне облака дипольных отражателей необходимо, чтобы в разрешаемый объем попал один объект и один диполь. Плотность входящего потока может изменяться на 1-2 порядка. Для получения голографического изображения объектов на всех дальностях необходимо обеспечить пространственное разрешение порядка длины волны. При изменении дальности на 2 порядка отношение сигнал/шум изменяется на 8 порядков, а уровень совокупного мешающего сигнала – изменяется на 2-4 порядка. Вполне понятно, что методы анализа «тонкой структуры» отраженного сигнала не позволяют решить проблему построения современного лоатора дальнего обнаружения. Их следует дополнить методами грубой силы, основанными на существенном увеличении трех обобщенных системных параметров. То есть, следует существенно (на несколько порядков) увеличить пространственное разрешение и энергию зондирующего сигнала.

Первый путь развития радиолокации основан на существенном увеличении размеров апертуры антенны на прием и передачу и уменьшении времени выполнения радиолокационных операций. Это приводит к необходимости применения крупноапертурных (КА) и сверхкрупноапертурных (СКА) антенн, которые работают в дифракционной зоне Френеля и требуют голографической обработки волнового поля. Авторы длительное время занимались исследованием перспективных возможностей радиолокации и построением радиолокационных ИС систем, рассматривая их как ближайшее будущее радиолокации. Они являются наиболее сложными и перспективными. На их примере строится системная теория радиолокации.

Второй путь развития радиолокации основан на создании динамических и адаптивных радиолокационных систем. Рассматриваемые системы дальнего обнаружения являются сложными и дорогостоящими. При их создании необходимо

выполнять требования недопущения избыточности ресурса. Это достигается путем согласования текущего ресурса системы с изменяющимся ресурсом внешней среды. Причинами такого изменения являются: естественное движение объектов и источников помех во времени и в пространстве, намеренное и с противоположными интересами параметров средств создания помех, влияние турбулентной атмосферы, ионизированных образований и метеоусловий, изменение ориентации объекта и др. Средства создания помех в каждом периоде локации способны изменять порядка 15 системных параметров (ширина спектра излучаемых частот, состояние поляризации и др.). Радиолокационная информационная система (РГ ИС) в каждом периоде локации способна изменять порядка 25 системных параметров (плотность потока мощности на апертуре антенны на передачу на 2 порядка, размеры апертуры антенны на прием и передачу и др.). При изменении отношения сигнал/помеха на порядок время выполнения радиолокационной операции так же изменяется на порядок. То есть, состояние лоатора является управляемое. Так как все общесистемные характеристики лоатора зависят от плотности входящего потока и уровня мешающего сигнала, а они постоянно изменяются, то статический лоатор на самом деле будет динамическим. Если ИС проектировать как статическую систему, то ошибка в определении ресурса может составить 1-2 порядка.

Анализ показывает, что проблемными задачами современной локации дальнего обнаружения являются: 1) наблюдение на больших дальностях слабых сигналов методами анализа «тонкой структуры» в сочетании с методами «грубой силы»; 2) наблюдение сигналов в условиях влияния активных помех, на несколько порядков (2-7) превышающих уровень собственных шумов приемника; 3) наблюдение объектов на фоне облака дипольных отражателей; 4) применение методов игрового управления состоянием поляризации сигнала; 5) наблюдение больших потоков объектов; 6) получение радиолокационного изображения на всех дальностях с разрешением порядка длины волны; 7) решение задач оптимального управления состоянием системы; 8) построение динамической системы; 9) решение задач двустороннего конфликтного управления в форме дифференциальной игры «наблюдение-противодействие»; 10) построение адаптивных систем; 11) наблюдение одиночных объектов в условиях жесткого ограничения временного ресурса (1-2 с), что характерно для лоаторов малой дальности (1-5 км) и др.

В работе предлагается метод согласования системы с внешней средой по состоянию и

поведению, который реализуется путем построения динамических радиолокационных информационных систем на основе применения СА, КА и СКА антенн. В развитии радиолокации дальнего обнаружения условно можно выделить 5 поколений локаторов: 1) с зеркальными антеннами; 2) с большими щелевыми антеннами и ФМ сигналом; 3) многофункциональные локаторы; 4) со сплошными КА антеннами наземного и космического базирования; 5) с сильно разреженными СКА кольцевыми антеннами (рис. 2).

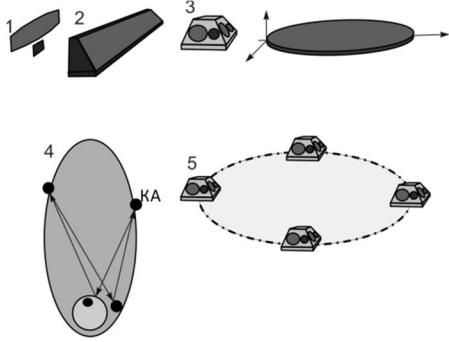


Рис.2. Радиолокаторы 1, 2, 3, 4 и 5 поколений

Локаторы 1, 2 и 3 поколений не позволяют решать проблемные задачи современной и перспективной радиолокации. Локаторы 4 и 5 поколений находятся в стадии исследований. Авторы самостоятельно исследовали возможности создания «большой» радиолокационной информационной системы (БРГ ИС) (рис. 3) на основе применения многокольцевой СКА антенны, способной наблюдать аэрокосмические объекты, находящиеся над территорией страны. На рис.3 приняты обозначения: 1– локатор обзора и обнаружения отметок; 2 –голографический локатор сопровождения и пролонгирования траектории; 3 – голографический прецизионный локатор; 4 – голографический локатор обнаружения точечных объектов; 5 –голографический локатор обнаружения элементов объекта.

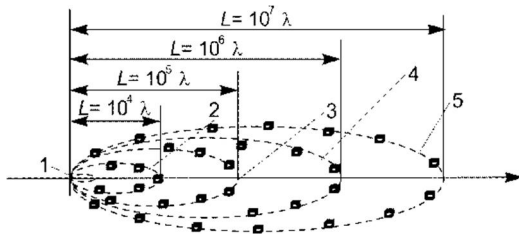


Рис. 3. Многопозиционная пространственно-когерентная радиолокационная информационная система

Система выполняет все известные радиолокационные операции (рис. 4). На этом рисунке: j_1 – обзор и обнаружение отметок; j_2 – обнаружение траекторий; j_3 – сопровождение; j_4 – пролонгирование траектории; j_5 – автофокусировка; j_6 – получение изображения; j_7 – контроль факта

воздействия по изменению траектории; j_8 – контроль факта воздействия по изменению формы объекта; j_9 – траекторное разрешение; j_{10} – синхронизация; j_{11} – юстировка. Она рассматривается как базовая система. На ее примере строится системная теория. В состав БРГ ИС входят пять элементарных локаторов, каждый из которых выполняет одну или несколько радиолокационных операций. Из единого антенного ресурса в зависимости от обстановки в системе может формироваться несколько элементарных локаторов на время выполнения ими своих операций.

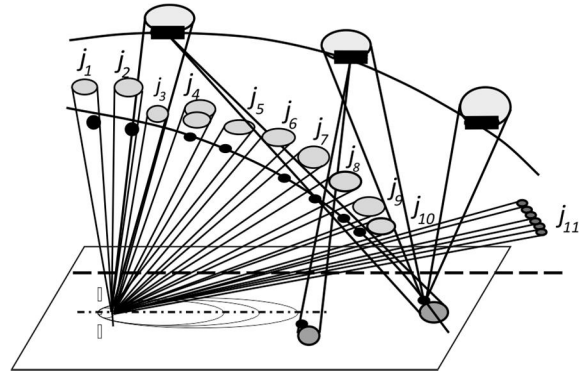


Рис. 4. Радиолокационные операции ПКРГИС

На основе большой радиолокационной информационной системы (БОГ ИС) разработано 17 модельных примеров построения «больших» и «малых» радиолокационных систем (РГ ИС). В том числе рассматриваются:

1) кооперативная РГ ИС, которая объединяет антенные модули, расположенные на самолетах (рис. 5);

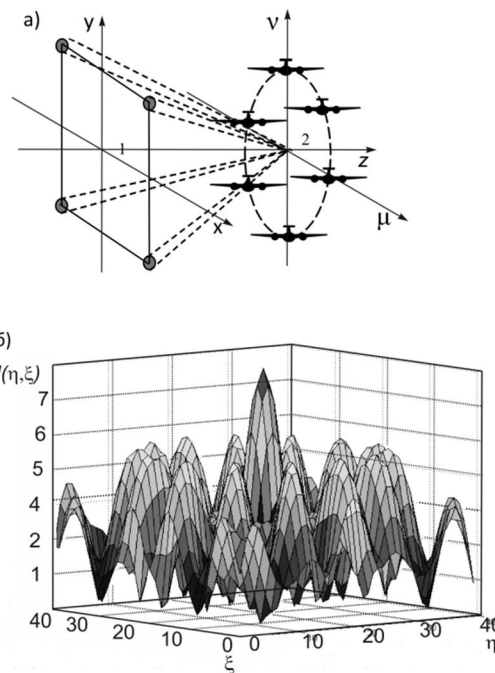


Рис. 5. Бортовая кооперативная РГ ИС (а). Диаграмма направленности общей КА антенны (б)

2) многопозиционная пространственно-когерентная, создаваемая на основе когерентного объединения существующих локаторов различного диапазона волн (рис. 6);

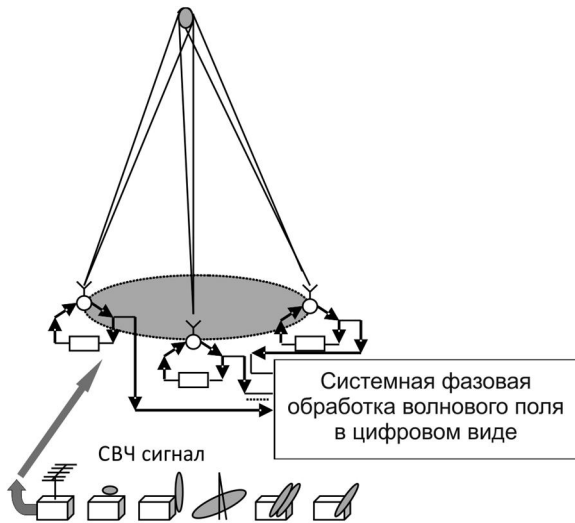


Рис. 6. Многопозиционная когерентная система, объединяющая существующие локаторы

3) метрового диапазона волн, создаваемая на основе существующего локатора и трех дополнительных концентрических кольцевых антенн (рис. 7) и др.

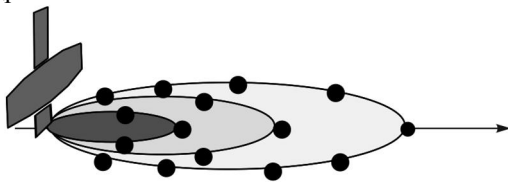


Рис. 7. Радиолографическая система метрового диапазона волн на базе существующего локатора

К модельным примерам построения «малых» РГ ИС, создаваемых на основе применения СА антенн, относятся:

1) бортовая для предупреждения столкновения летательного аппарата и внезапно появляющегося объекта (рис. 8-10);

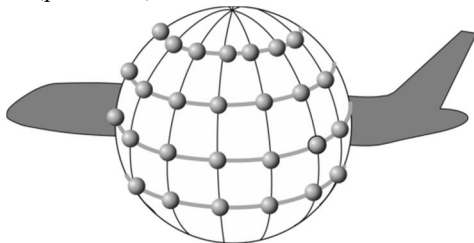


Рис. 8. Радиолографическая система со сферической антенной для предотвращения столкновения с внезапно появившимся объектом

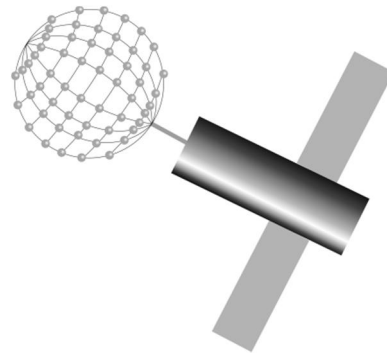


Рис. 9. РГ ИС со сферической антенной, расположенной на ИСЗ

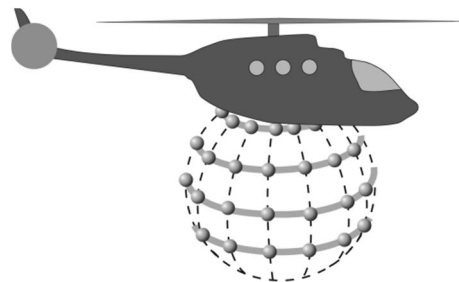


Рис. 10. Вертолетная РГ ИС со сферической антенной для предотвращения столкновения с объектами

2) аэродромная для предупреждения столкновения самолетов в аэропорту (рис. 11);

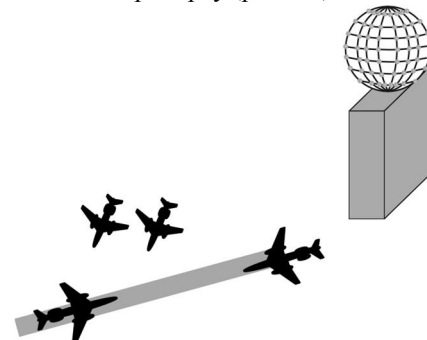


Рис. 11. Аэродромная радиолографическая система со сферической антенной для предотвращения столкновения самолетов в аэропорту

3) аэродромная для «слепой» посадки самолетов (рис. 12);

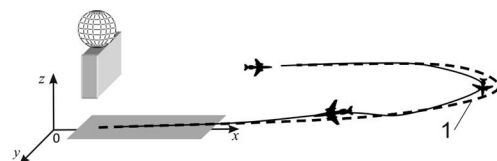


Рис. 12. Радиолографическая ИС со сферической антенной для автоматической посадки самолета в условиях отсутствия видимости

4) бортовая обзорная вместо системы АВАКС (рис. 13).

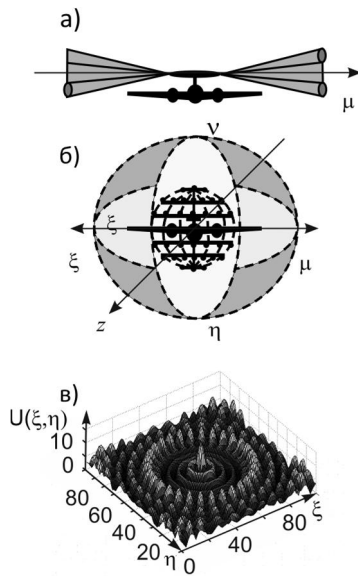


Рис. 13. Диаграммы направленности

На рис. 13: а) существующей обзорной РЛ ИС, создаваемая на основе применения линзы Лüneберга; б) предлагаемой бортовой РГ ИС дальнего действия, создаваемая на основе применения сферической антенны; в) сферической антенны.

2. Методологические основы системного проектирования. Научные и методические основы системного проектирования включают: системную теорию и методические основы. Методологические основы служат связующим звеном между теорией и практикой системного проектирования. Для удобства описания система делится на типовые подсистемы: операционные (OS_j) или однофункциональные; полиоперационные (POS) или многофункциональные и полилинейные (PLS) или многоканальные. Типовым подсистемам соответствуют уравнения состояния, динамики и конфликта. Операционные подсистемы могут выполнять порядка 15 радиолокационных операций – обнаружение траекторий, автофокусировка и др. Для каждой операции составляется 9 функциональных уравнения. В общем виде они определяются выражениями [2-4]:

$$\begin{aligned} OS_j : x_{os_j, st}(t) &= F_{os_j, st}(t), \dot{x}_{os_j, dyn}(t) = \\ &= f_{os_j, dyn}(x_{os_j, dyn}, u, t), \dot{x}_{os_j, conf}(t) = \\ &= f_{os_j, conf}(x_{os_j, conf}, u, v, t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} POS : x_{pos, st}(t) &= F_{pos, st}(t), \dot{x}_{pos, dyn}(t) = \\ f_{pos, dyn}(x_{pos, dyn}, u, t), \dot{x}_{pos, conf}(t) &= \\ f_{pos, conf}(x_{pos, conf}, u, v, t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PLS : x_{ps, st}(t) &= F_{ps, st}(t), \\ \dot{x}_{ps, dyn}(t) &= f_{ps, dyn}(x_{ps, dyn}, u, v, t) \end{aligned}$$

$$\dot{x}_{ps, conf}(t) = f_{ps, conf}(x_{ps, conf}, u, v, t),$$

где $u(t), v(t)$ – многомерные функции от нормированных системных параметров системы и ее внешней среды.

При системном проектировании все системные параметры самой системы и ее внешней среды, действующей по ее входу и выходу, рассматриваются как переменные и подлежат определению. В развернутой форме они представляются в виде векторов, компонентами которых являются нормированные значения системных параметров:

$$\begin{aligned} U_j^T(t) &= \left\| u_{L_{no, \alpha}}(t) u_{L_{no, \beta}}(t) u_{L_{np, \alpha}}(t) u_{L_{np, \beta}}(t) u_{\Delta F_c}(t) u_{\lambda_c}(t) \right. \\ &u_{L_{np, \text{разр}}}(t) u_{\Pi_{ав}}(t) u_{\gamma_{c \rightarrow}}(t) u_{\gamma_{c \uparrow}}(t) u_m(t) u_{mw}(t) u_{\Delta tr, \text{разр}}(t) \\ &u_{z, p, \xi} u_{z, p, R} u_{z, p, \eta} u_{\xi} u_R u_{\eta} u_{\text{фонор}} u_{F_{\partial, \text{опор}}} \end{aligned}$$

$$\left. u_{T_0} u_{A, \text{зонд}} u_{\varphi_{\alpha}} u_{\varphi_{\beta}} u_n u_{f_{\mu_1 \dots \mu_n}} u_{\Delta F_{cs}} \right\|;$$

$$V_j^T(t) = \left\| v_{\Delta F_n}(t) v_{L_{no, n, \beta}}(t) v_{L_{no, n, \alpha}}(t) v_{\Pi_{ав, n}}(t) v_{R_n}(t) \right.$$

$$v_{\sigma_n}(t) v_{N_{\text{САЛ, СИ}}}(t) v_{i_{\text{САЛ}}}(t) v_{\sigma_{\text{до, эа}}}(t) v_{N_{\text{до}}}(t) v_{\gamma \rightarrow}(t)$$

$$v_{\gamma \uparrow}(t) v_{R_z}(t) v_{\Lambda_{\text{вс}}}(t) v_{\Lambda_{\text{вс}, \text{до}}}(t)$$

$$W(t) = \left\| w_{\Lambda_w}(t) w_{\delta t, w}(t) w_m(t) \right\|.$$

Здесь нижние индексы переменных соответственно обозначают: для информационной системы – размеры апертуры антенны на передачу и прием, ширина спектра зондирующего сигнала, длина волны, размеры апертуры общей антенны голографической системы, плотность потока мощности зондирующего сигнала на апертуре антенны на передачу, состояние горизонтальной и вертикальной поляризации, число каналов обслуживания в системе и в активных средствах, сдвиг между сигналами при траекторном разрешении по времени или по пространству, размеры области грубого целеуказания голографическому локатору, пространственные координаты объекта, измеряемые в голографическом локаторе, частота опорного колебания, частота опорного колебания с учетом доплеровской добавки, период колебаний, амплитуда зондирующего сигнала, фаза зондирующего сигнала, число антенных позиций, несущие частоты на отдельных антенных позициях, ширина спектра сложного сигнала; для внешней среды, действующей по входу системы, – ширина спектра зондирующего сигнала, размеры апертуры антенны передатчика активных помех, плотность потока мощности передатчика помех, расстояние до объекта, эффективная поверхность рассеяния объекта, число станций активных помех, время функционирования станции активных помех, эффективная поверхность рассеяния диполя, число диполей в облаке, состояние поляризации мешающих сигналов, удаление станции активных

помех от центра сложного объекта, плотность входящего потока объектов, плотность входящего потока диполей; для внешней среды, действующей по выходу системы, – плотность потока обслуживания, число линий обслуживания, требуемое пространственное разрешение.

Разработка системной теории радиолокации, по существу, сводится к отысканию составных векторов формального языка описания состояния и поведения трех взаимодействующих систем (триады) – $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C})$, компонентами которых являются: плотности потоков объектов $(\Lambda_V(t), \Lambda_W(t), \Lambda_U(t))$, векторы текущих значений системных параметров $(\mathbf{V}(t), \mathbf{W}(t), \mathbf{U}(t))$, векторы текущих ресурсов $(\mathbf{V}_p(t), \mathbf{W}_p(t), \mathbf{U}_p(t))$, уравнения состояний $(x_{V,stat}(t), x_{W,stat}(t), x_{U,stat}(t))$, уравнения динамики $(\dot{x}_{V,dyn}(t), \dot{x}_{W,dyn}(t), \dot{x}_{U,dyn}(t))$, уравнения конфликта $(\dot{x}_{V,conf}(t), \dot{x}_{W,conf}(t), \dot{x}_{U,conf}(t))$, векторы текущих значений системных показателей качества $(\mathbf{K}_V(t), \mathbf{K}_W(t), \mathbf{K}_U(t))$. В собранном виде составные векторы формального языка описания состояния и поведения трех взаимодействующих систем имеют вид:

$$\mathbf{A} = \left\| \Lambda_V(t) \mathbf{V}(t) \mathbf{V}_p(t) x_{V,stat}(t) \dot{x}_{V,dyn}(t) \dot{x}_{V,conf}(t) \mathbf{K}_V(t) \right\|,$$

$$\mathbf{B} = \left\| \Lambda_W(t) \mathbf{W}(t) \mathbf{W}_p(t) x_{W,stat}(t) \dot{x}_{W,dyn}(t) \dot{x}_{W,conf}(t) \mathbf{K}_W(t) \right\|$$

$$\mathbf{C} = \left\| \Lambda_U(t) \mathbf{U}(t) \mathbf{U}_p(t) x_{U,stat}(t) \dot{x}_{U,dyn}(t) \dot{x}_{U,conf}(t) \mathbf{K}_U(t) \right\|.$$

Разработка методических основ системного проектирования сводится к отысканию составных векторов:

$$\mathbf{A}_{metod} = \left\| \Lambda_V(t) \mathbf{V}(t) \mathbf{V}_p(t) \mathbf{K}_V(t) \right\|,$$

$$\mathbf{B}_{metod} = \left\| \Lambda_W(t) \mathbf{W}(t) \mathbf{W}_p(t) \mathbf{K}_W(t) \right\|,$$

$$\mathbf{C}_{metod} = \left\| \Lambda_U(t) \mathbf{U}(t) \mathbf{U}_p(t) \mathbf{K}_U(t) \right\|.$$

Методические основы системного проектирования включают: анализ существующих методов системного проектирования, определение требований к системной теории в части полноты и многомерности описания, разработку новых методов после разработки теории.

Дестационаризирующими факторами, приводящими к динамическому характеру поведения системы, являются: 1) изменение дальности при естественном движении объектов и источников помех; 2) намеренное изменение системных параметров средств создания помех; 3) изменение плотности входящего потока; 4) влияние турбулентной атмосферы; 5) изменение уровня мешающего сигнала, создаваемого активными и пассивными помехами; 6) изменение эффективной поверхности рассеяния объекта; 7) изменение состояния поляризации сигналов помехи; 8) влияние

метеоусловий; 9) влияние ионизированных образований и др.

Можно выделить задачи многомерного описания системы, которые не решаются с помощью существующих одномерных эвристических методов. К ним относятся: 1) описание движения объектов по эллиптическим траекториям; 2) расчет размеров зоны обнаружения как своеобразного бункера, в котором хранятся объекты для обслуживания; 3) определение плотности входящего потока; 4) определение уровня полезного сигнала на входе приемника; 5) определение уровня мешающего сигнала; 6) определение точности измерения координат объектов; 7) определение плотности потока обслуженных объектов; 8) описание процессов отслеживания входного воздействия (управление); 9) расчет оптимальных значений системных параметров; 10) решение задач дифференциальной игры (адаптация); 11) выбор функции близости и критерия оптимальности; 12) определение состояния системы (синтез); 13) оценка эффективности существующих локаторов; 14) оценка перспектив развития радиолокации; 15) разработка методов проведения полигонных испытаний; 16) сравнение систем; 17) описание системы, создаваемой путем когерентного объединения локаторов различного диапазона волн; 18) описание радиолокационного комплекса, включающего ИС и активные средства; 19) оценка военно-экономической целесообразности создания новой системы; 20) оценка времени выполнения радиолокационной операции и полной совокупности операций; объединение теорий отдельных устройств в единую теорию радиолокации и др.

Известны четыре подхода к описанию системы при ее системном проектировании: содержательный с использованием инженерной интуиции, уравнения радиолокации и других простых выражений; описание на уровне устройства с использованием теории отдельных устройств; эвристический с построением одномерных моделей и методик; строго математический с использованием разделов математики университетского курса, не традиционных для радиолокации. В настоящее время при системном проектировании, в основном, применяются два метода: описание на уровне устройства с использованием хорошо разработанных теорий отдельных устройств обработки сигнала и поля и составления частных методик; эвристическое описание с построением одномерных методик. Если применять эти методы, то исследователь неизбежно окажется, по выражению Беллмана Р., в «западне переупрощения или в болоте переусложнения». Это противоречие приводит к необходимости разработки системной

теории радиолокации и, вытекающего из неё нового многомерного метода системного проектирования.

Выводы

1. Проведено теоретическое обобщение и решена научная проблема построения системной теории радиолокационных информационных систем дальнего обнаружения, которая обладает общностью и применима для всех классов радиолокационных систем. Построить теорию на абстрактном уровне не удастся. Поэтому теория строится на примере наиболее сложной и перспективной системы – многопозиционной пространственно-когерентной или радиолокационной.

2. Рассматриваемая информационная система нацелена на решение проблемных задач современной и перспективной радиолокации, связанных с наблюдением больших потоков объектов в условиях влияния сильных помех. Поэтому предлагается путь развития радиолокации на основе существенного увеличения пространственного разрешения и энергии зондирующего сигнала, что связано с прямым увеличением апертуры антенны на прием и передачу и применением КА и СКА антенн.

3. Системы дальнего обнаружения являются наиболее сложными и дорогостоящими. Поэтому при их системном проектировании необходимо выполнять требования недопущения избыточности ресурса. Отсюда возникают еще не решенные в радиолокации задачи управления состоянием и адаптации к внешней среде.

4. В последнее время намечается направление создания радиолокационных систем малой дальности, у которых временной ресурс жестко ограничен. Антенны таких локаторов, также как и голографических локаторов большой и средней дальности, работают в зоне Френеля и требуют голографической обработки поля. Сравнительно большие апертуры таких локаторов (порядка 3 м)

допускают применение активных средств с малыми размерами и малым весом.

5. Потребность в системной теории особенно ощущается в НИИ промышленности и НИИ вооружения при создании новых систем. Проблема сводится к созданию системного формального языка описания системы, основу которого составляют задачи синтеза, анализа, управления и взаимодействия. В свою очередь они сводятся к задаче синтеза и к определению понятия состояния системы, объединяющего все системные параметры системы и внешней среды. Предлагается описывать систему на языке времени.

6. Вопросы получения радиолокационного изображения сами по себе являются новыми и важными. Они связаны с применением крупноапертурных и сверхкрупноапертурных антенн, которые необходимы для повышения энергии зондирующего сигнала и пространственного разрешения, что обеспечивает быстроедействие системы.

7. Развита теория и техника радиолокации на системном уровне и на уровне устройства.

Список литературы

1. Матюхин Н.И. Системная теория динамических радиолокационных информационных систем наблюдения потока объектов в ситуациях конфликта / Н.И. Матюхин. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2007. – 417 с.
2. Кемени Д. Конечные цепи Маркова / Д. Кемени, Д. Снелл. – М.: Наука, 1970. – 270 с.
3. Кемени Д. Счетные цепи Маркова / Д. Кемени, Д. Снелл, А. Кнепп. – М.: Наука, 1987. – 412 с.
4. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.Н. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 400 с.
5. Howard R.A. System Analysis Semi-Markov Processes / R.A. Howard // IEEE Transaction on military electronics. - 1964/, - Volume MIL-8, № 2.

Рецензент: д.ф.-м. наук, проф. В.О. Катрич, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г.Харков.

Технічний вигляд радіолокаційних локаторів, що створюються для спостереження потоку об'єктів у ситуаціях конфлікту, та побудова на їх прикладі системної теорії радіолокації

Матюхін М.І., Набока А.М.

Показано, що системне проектування і системне військово-технічне проектування системи радіолокації зводиться до побудови її багатовимірної системної математичної моделі і до розробки методів повного системного опису - до рішення задач синтезу, аналізу, управління і взаємодії із зовнішнім середовищем. Тому такі рівняння складають основу системної теорії радіолокації. Функціональні рівняння описують стан і швидкість зміни стану системи, що пов'язані між собою як первісна і похідна за часом. Для простих, одновимірних систем функціональні рівняння знайдені, тобто вирішені завдання синтезу, аналізу, управління та адаптації. Для складної системи, якою є система радіолокації, пошук функціональних рівнянь і рівняння стану є значною науковою проблемою, яку не вдається вирішити з моменту появи радіолокаційної системотехніки. По суті проблема зводиться до визначення поняття стану системи, яка об'єднує усі системні параметри самої системи і зовнішнього середовища. У роботі вводиться нове поняття стану системи, яке визначає час дії системи, потрібний для виконання своїх функцій. На цій основі будується

системна теорія радіолокації. Побудувати теорію на абстрактному рівні неможливо, тому вона будується на прикладі найбільш складної перспективної системи, технічний вигляд якої також визначається.

Ключові слова: системна теорія радіолокації, динамічна радіолографічна інформаційна система далекого виявлення, системотехніка радіолокації, двостороннє конфліктне управління, диференціальна гра "спостереження-протибдя"

Technical concept of radioholographic radars for observation of object flows in conflict situations and development of radar system theory based on the concept

N. Matukhin, A. Naboka

It is shown that the system design and the system of military-technical design for radars is reduced to the construction of its multi-dimensional mathematical model and to development of methods for complete system description, i.e. for the problem solution, related to synthesis, analysis, control, and interaction with the environment. They, in turn, can be reduced to the search for functional equations of state, and the dynamics of the conflict, which in concentrated form reflect patterns of development and operation of system-topic. Therefore, these equations are the basis of radar systems theory. Functional equations describe the state and rate of change of the system state, which are connected to each other as the primitive function and the derivative with respect to time. For simple, one-dimensional systems, functional equations are found, that is, the problems of synthesis, analysis, control and adaptation are solved. For a complex system, such as system radar, search for functional equations and the equation of state is a significant scientific problem which can not be solved since emergence of radar systems engineering. In fact the problem is reduced to the definition of the system state combining all system parameters and that of the environment. This paper introduces a new notion of system state, which determines the time required for the system to perform all its functions. On this basis, radar systems theory is built. This theory can not be constructed at an abstract level, so it is built on the example of the most perspective complex systems. The technical appearance of such systems is also determined.

Key words: radar systems theory, dynamical radio holographic information early warning system, radar systems engineering, bilateral conflicting control, differential game of action and counteraction.

УДК 623

П.О. Русіло, А.Д. Черненко, Ю.В. Варванець, В.В. Костюк, О.М. Калінін

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОЦІНКА РІВНЯ ВОГНЕВОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ЗАХИЩЕНОСТІ ЗРАЗКІВ ВІТЧИЗНЯНИХ БРОНЕТРАНСПОРТЕРІВ

У статті зроблена спроба оцінки рівня вогневої потужності і захищеності бронетранспортерів. Порівняльний аналіз рівня вогневої потужності та захищеності свідчить про те, що вітчизняні бронетранспортери БТР-4Е «Ладья» і БТР-3Е1 займають провідне місце серед перспективних зразків, які знаходяться в серійному виробництві і на озброєнні армій країн світу.

Ключові слова: бронетранспортер, вогнева потужність, захищеність, зразок.

Постановка проблеми

Досвід бойового застосування бронетранспортерів (БТР) у локальних конфліктах в останні десятиріччя підтвердив крайню необхідність мати машини з підвищеним рівнем основних бойових характеристик. Оскільки колісні машини мають більш високий рівень стратегічної рухомості і вимагають менших витрат на експлуатацію та обслуговування у військах, все частіше на БТР покладаються функції бойової машини піхоти (БМП) щодо ураження броньованих цілей та живої сили противника. Одночасно конструкція і компоновка складових частин БТР повинні перетворити у

броньовану високо захищену бойову машину з потужними системами озброєння, що дозволить підрозділам і частинам діяти у відриві від основних сил, а також протистояти мобільним і добре озброєним групам противника. Висока рухомість і маневреність у поєднанні з потужними вогневими можливостями, комфортабельним розташуванням екіпажу і десанту, його захищеністю характеризують БТР зручним під час виконання бойових завдань будь-якої армії світу.

Проблема підвищення вогневої потужності і захищеності на полі бою для розроблення нових перспективних зразків і подальшої модернізації вітчизняних бронетранспортерів є актуальною.