

**С. О. Птицын<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»

# ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА К ОПИСАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Анализируются возможности применения информационных показателей для описания и оценки эффективности функционирования сложноорганизованных технических систем военного назначения в условиях противодействия на энергетическом, материальном и информационном уровнях. Рассматриваются условия повышения информационного ресурса и адаптируемости сложноорганизованных систем к внешней среде в условиях конфронтации со стороны аналогичных систем противника. Описаны основные свойства сложноорганизованных иерархически структурированных технических систем, основные принципы формирования их единого информационного поля в рамках локального информационного пространства, показана зависимость информационного ресурса таких систем от их структурной сложности и реализуемых принципов формирования информационных полей. Предлагаемый информационный подход позволяет с точки зрения единых показателей оценивать взаимодействие различных сложноорганизованных систем, в том числе в условиях их противодействия, с учетом метаболизма материальных, энергетических и информационных ресурсов. В результате при создании таких систем возникает потенциальная возможность управления перераспределением указанных ресурсов для обеспечения требуемой эффективности решения возникающих задач.*

**Ключевые слова:** энтропия, доминантная информация, сложноорганизованные иерархические структуры, информационный ресурс

## Введение

Динамика развития разноуровневого взаимодействия технических систем, их объединение в сложные организационные иерархические структуры, которые могут не только взаимодействовать, но и противодействовать друг другу, актуализируют вопросы, связанные с развитием теории построения и оценкой эффективности применения самоорганизующихся сложных систем. Функционирование последних определяется выработкой поведенческих решений, адаптируемых к изменению внешней среды.

В соответствии с современными положениями теории [1] самоорганизующиеся сложные системы обладают рядом признаков, особенностей и свойств, которые являются новыми, полезными для их применения и приспособляемости к изменению внешних условий, но в то же время вызывают неопределенность поведения системы в целом, затруднение (усложнение) управления ее элементами. В числе таких особенностей:

- нестационарность (изменчивость, нестабильность) отдельных характеристик как отдельных подсистем, так и системы в целом;
- уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях, определяемые множеством факторов, влияющих на выбор способов управления системой;
- способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды, помехам (противодействию противника);
- способность противостоять разрушающим систему (энтропийным) воздействиям извне, стимулирующая ответное воздействие на внешнюю среду (энергетическое и информационное противодействие);
- способность вырабатывать варианты поведения, изменять структуру (при необходимости), сохраняя при этом целостность и основные свойства;
- способность и стремление к целеобразованию и формированию дерева целей внутри системы

в отличие от закрытых систем, где цели формируются и задаются извне.

При описании взаимодействия (противодействия) таких систем необходимо детальное рассмотрение следующих вопросов:

- возможность применения единой системы измерений для оценок различных по физической природе видов воздействия (взаимодействия, противодействия) одной системы на другую;
- выявление свойств и признаков рассматриваемых систем, влияющих на их адаптивность к изменениям внешней среды в реальном времени;
- анализ факторов, влияющих на эффективность реализации потенциальных возможностей сложных систем в динамике их функционирования (применения).

Необходимо учитывать, что данные системы не являются статичными и для их существования и изменчивости в них должны постоянно проходить процессы своего рода «метаболизма», обеспечивающие их существование в течение продолжительного времени, то есть данные системы должны обладать ресурсами, возобновляемыми или не возобновляемыми, что зависит от типа систем и условий их функционирования. Применительно к сложным иерархически структурированным техническим системам, анализу реализуемости перечисленных выше свойств не противоречит детализация их структуры с выделением взаимодействия как минимум трех ресурсов: материального, энергетического и информационного [2].

Материальный ресурс является основным в системе, он определяет наличие технических и материальных средств, предназначенных для применения системы по прямому назначению.

Энергетический ресурс определяет интенсивность процессов, протекающих в системе при взаимодействии (противодействии) с другими системами. При его отсутствии система оказывается полностью статичной или все процессы целиком детерминируются внешними факторами, система деградирует.

Информационный ресурс определяет, с одной стороны, структуру системы и обеспечивает ее стабильную (адекватную) изменчивость, т.е. устойчивость относительно внешних и внутренних воздействий. С другой стороны, он выполняет функции управления, т.е. определяет характер процессов, протекающих в системе и при взаимодействии с внешней средой. Как правило, обе составляющие информационного ресурса взаимопересекаются и иногда называются информацией системы.

### **Самоорганизующиеся системы военного назначения**

Современные сложные иерархически структурированные системы военного назначения, в том числе разведывательно-огневые (РОС) или разведывательно-поражающие (РПС) системы различного уровня при взаимодействии их с внешней средой в условиях ведения боевых действий (при противодействии противнику), имеют все признаки сложных самоорганизующихся систем, структура и свойства которых должны адаптироваться к постоянно меняющимся внешним условиям. Поэтому к их описанию, оценке эффективности функционирования (применения) и в дальнейшем построению должны применяться общесистемные подходы.

Во-первых, для эффективного противодействия противостоящим, не дружественным системам такие системы должны обладать достаточным энергетическим ресурсом. Для рассматриваемых РПС и РОС под энергетическим ресурсом целесообразно понимать: в узком смысле – способность образцов вооружения доставлять на определенную глубину (распределять на определенной площади) энергию взрыва (радиоэлектронную и др. виды энергии); в широком смысле – энергию, извлекаемую при сжигании топлива, электроэнергию и т.п., необходимые для применения вооружения по прямому назначению, выполнения заданного числа огневых задач или в течение заданного интервала времени. Эффективность расходования энергетического ресурса определяется эффективностью выполнения боевых задач.

Во-вторых, для того чтобы система действовала в соответствии с ее предназначением, она должна обладать определенным количеством материальных ресурсов. В данном случае под материальным ресурсом понимается количество образцов вооружения, привлекаемых для выполнения боевых задач РПС (РОС), запасы боеприпасов, формируемые на этапе планирования и находящиеся в боекомплекте вооружения. Текущее состояние материального ресурса определяется наличием перечисленных материальных средств на текущий момент боя.

В-третьих, система должна обладать достаточным информационным ресурсом. Под информационным ресурсом понимаются возможности средств разведки, управления и боевого обеспечения по добытию информации о состоянии противника, ее обработке и доведению до исполнителя решений, обеспечивающих наилучшее использование энергетических и материальных ресурсов.

Анализ современного состояния теории оценки эффективности боевого применения сложных систем, подобных РОС и РПС, показывает, что в данной области, как правило, оценивается их

энергетическое (силовое) взаимодействие [3]. В этом случае количественная оценка энергетического воздействия на противоборствующую систему интерпретируется как снижение ее боевого потенциала за счет непосредственного поражения потенциально опасных целей. Однако, как показывает опыт военных конфликтов, достижение цели (эффекта) в вооруженном противостоянии сложных систем военного назначения может осуществляться и без непосредственного применения средств огневого, радиоэлектронного и других видов поражения. Например, интенсивное психологическое воздействие на противника может обеспечить достижение требуемого эффекта в противостоянии противоборствующих систем и без боевого соприкосновения, но при демонстрации боевого потенциала, представляющего реальную опасность. Так, сосредоточение боевой техники, готовой к применению, уже само по себе несет агрессию, потенциальную опасность, независимо от того, применяется она по прямому назначению или нет, а также существует противоборствующая система или нет. При наличии условий конфронтации создание потенциальной опасности носит характер психологического или другого «логос»-воздействия.

С другой стороны, при отсутствии информационного ресурса наличие материальных и энергетических ресурсов может представлять опасность только для самой системы в районе расположения ее элементов.

В качестве гипотезы предлагается при определении эффективности функционирования современных сложноорганизованных технических систем военного назначения (РОС, РПС и т.п.) считать приоритетной оценку информационного ресурса – в первую очередь оценивать информационные ресурсы таких систем, возможности их снижения для систем противника и повышения для своих систем соответственно.

Учет информационного ресурса сложноорганизованных систем военного назначения при оценке эффективности функционирования РПС (РОС), как и любой другой сложной системы, в условиях конфронтации позволяет классифицировать внешнюю среду по степени опасности как для самих систем, так и для их элементов, что, в свою очередь, повышает эффективность применения и обеспечивает оптимизацию распределения ресурсов.

При этом сами материальные, энергетические и информационные ресурсы не существуют вне функциональной, временной и пространственной зависимостей одного от другого. Так, для формирования разведывательной информации или управляющего воздействия на исполнительные подсистемы необходима передача разведывательных данных или команд управления с использованием

энергии электромагнитного излучения, вырабатываемого с помощью материальных ресурсов.

В результате при описании динамической модели рассматриваемых систем относительно перечисленных ресурсов [2] справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} E = E_0 + D_E + U_{EM} + U_{EI} + U_{Ee} \\ M = M_0 + D_M + U_{ME} + U_{MI} + U_{Me}, \\ I = I_0 + D_I + U_{IM} + U_{IE} + U_{Ie} \end{cases} \quad (1)$$

где  $E_0$  и  $E$  – соответственно исходный и полный энергетические ресурсы системы;  $M_0$  и  $M$  – исходный и полный материальные ресурсы системы соответственно;  $I_0$  и  $I$  – исходный и полный информационные ресурсы системы соответственно;  $D_E, D_M, D_I$  – потенциал распада, определяющий потери соответственно энергетического, материального и информационного ресурсов;  $U_{EM}$  и  $U_{EI}$  – потенциалы внутреннего обмена, определяющие возможное преобразование энергетического ресурса в материальный и информационный соответственно;  $U_{ME}$  и  $U_{MI}$  – потенциалы внутреннего обмена, определяющие возможное преобразование материального ресурса в энергетический и информационный соответственно;  $U_{IM}$  и  $U_{IE}$  – потенциалы внутреннего обмена, определяющие возможное преобразование информационного ресурса соответственно в материальный и энергетический;  $U_{Ee}, U_{Me}, U_{Ie}$  – потенциалы обмена с внешней средой соответственно энергетического, материального и информационного ресурсов (положительные – при поступлении ресурса из внешней среды, отрицательные – при передаче системой во внешнюю среду).

Система уравнений (1) представляет собой полное описание динамической модели сложной системы с учетом ее взаимодействия с внешней средой. Все ее члены представляют собой строго определенные функции времени и других переменных, которыми являются характеристики подсистем сложноорганизованной системы и оценки эффективности их применения.

Справедливость предлагаемой системы уравнений подтверждает диалектика развития систем поражения:

- при практическом отсутствии информационного ресурса и низкой энергетике поражающих элементов на рубеже зарождения средств огневого поражения ожидаемый эффект достигался за счет материального ресурса – расхода боеприпасов;
- при появлении ядерных боеприпасов требуемый эффект достигался за счет энергии деления ядра и в меньшей степени за счет использования материального и информационного ресурсов;

- в настоящее время тенденции развития средств поражения показывают стремление к достижению требуемого эффекта за счет повышения информативности систем вооружения – создания высокоточного оружия, что позволяет минимизировать материальные и энергетические ресурсы.

### **Функционирование сложных систем военного назначения в информационном пространстве**

Переходя к рассмотрению информационного подхода к описанию функционирования сложноорганизованных систем, следует понимать, что речь идет об анализе возможности использования информационного ресурса анализируемых систем для адекватного отображения состояний внешней среды и оценки их адаптируемости к изменению таких состояний. Под внешней средой понимаются как условия функционирования самих систем, так и структура, состояния и внешние проявления систем и объектов противника.

Опасность, возникающая в месте сосредоточения боевой техники, – объективная реальность, которая трансформируется в какие-либо оценки только после проведения мероприятий по вскрытию объектов противника, оценки их состояния и сделанных выводов. При этом выводы формируются на основе анализа данных, полученных с помощью рецепторов различной физической природы или измерительных приборов. С точки зрения теории информации формализованное представление таких выводов в соответствующей системе измерений и есть не что иное, как информация – количественная мера уменьшения неопределенности данных об условиях, в которых функционирует та или иная сложная система [4].

В результате можно говорить о существовании многомерного пространства (необязательно декартового), в котором проявляются те или иные свойства материальных объектов. В зависимости от условий внешней среды характеристики этих объектов могут изменяться в различных направлениях уже в декартовой системе координат. Посредством рецепторов значения этих характеристик с определенной погрешностью могут быть измерены, а после их обработки и анализа получена информация.

Таким образом, если в пространстве характеристик сложных систем существуют логические связи, обнаруживающиеся при наличии соответствующих объектов, то можно говорить о существовании в нем информационного поля.

В физике под полем понимается материальная среда, в которой протекают процессы взаимодействия выделенных объектов (систем) и служащая

проводником этого взаимодействия. Если рассматривать в качестве примера электромагнитное поле, то его источник в информационном пространстве описывается двумя ортогональными векторами, соответствующими электрической и магнитной составляющим, и уже в декартовой системе координат распространение электромагнитного поля описывается вектором Умова – Пойтинга [5].

С информационной точки зрения все физические поля выполняют единственную функцию передачи информации от одного выделенного объекта к другому и формируют единое информационное поле, которое проявляется в форме того или иного вида анализируемых данных лишь при наличии соответствующих измерительных средств. Так как информация не бывает вне ее материального носителя [6], то под информационным полем следует понимать структуру материи, окружающей источник поля – объект (систему), которая сложилась под воздействием структуры самого объекта (системы) – это может быть объект разведки, участок местности, метеоусловия в районе особого внимания (РОВ) и т.п.

Такое определение информационного поля позволяет применить к его анализу основные положения теории физических полей. В этом случае под информационным пространством следует понимать область изменения значений характеристик источников физических полей и среду их распространения, которые после проведения измерений могут быть преобразованы в информационные поля.

Относительно взаимодействия (противодействия) в ходе вооруженного противостояния группировок войск, рассматриваемых как сложноорганизованные системы, объективной реальностью является их свойство в зависимости от назначения и текущего состояния формировать в информационном пространстве информационное поле, соответствующее их структуре и интенсивности изменения состояний. Средства разведки (рецепторы), в зависимости от реализуемых в них физических принципов, точностных характеристик и алгоритмов обработки измеренных характеристик физических полей, с определенной точностью формируют на выходе образ информационного поля, источником которого является структура противостоящей системы (объекта). На пунктах сбора и обработки разведывательной информации при решении обратной задачи оценить структуру, состояния и другие характеристики объектов (системы) противника возможно лишь с некоторой погрешностью. Отсюда достоверность разведанных определяется корреляционной функцией между исходными (истинными) характеристиками объектов (систем) противника в формируемом при сборе и обработке данных

информационном пространстве и их отображением на многомерной области измеряемых характеристик (признаков) [7]. Качество отображения зависит не только от характеристик средств разведки (рецепторов), но и от алгоритма обработки поступающих от них данных, а также компетентности лица, принимающего решение.

В идеале необходимо стремиться к полной корреляции между исходным информационным полем и его образом.

Так как объект разведки, как любое материальное тело, способен формировать образ в различных областях спектра ЭМВ, акустики и т.п., то вполне справедливо, что использования одного рецептора недостаточно, необходима система рецепторов, согласованных во времени и в пространстве, – так называемая единая система формирования информационного пространства, в котором формируются и анализируются информационные поля.

Учитывая, что в соответствии с принятыми определениями единого информационного пространства и единого информационного поля их полноценное формирование в рамках существующих сложных систем военного назначения по технологическим причинам маловероятно, в дальнейшем рассматриваются локальное информационное пространство отдельно взятой системы типа РОС (РПС) и соответствующее ему единое информационное поле.

#### **Комплексирование информационных полей при формировании единого информационного поля сложноорганизованной системы в рамках локального информационного пространства**

При формировании единого информационного поля сложноорганизованной системы, обеспечивающего снижение неопределенности (энтропии) данных, получаемых о состоянии объектов противника и его систем посредством объединения различных информационных полей, возможно применение различных подходов, которые определяются системой показателей и критериев достижения цели.

Не вдаваясь в глубокую детализацию описания различных способов комплексирования данных, поступающих от разных средств обработки информации, можно выделить три основных способа формирования единого информационного поля:

- отдельный анализ данных, поступающих оператору от различных средств разведки;
- синтез единого информационного поля при независимости информационных полей, формируемых посредством различных средств разведки;
- синтез единого информационного поля с учетом корреляции анализируемых информационных полей.

Первый подход реализуем в следующих случаях:

- анализ отдельно сформированных информационных полей в каналах, предоставляемых отдельными средствами разведки, достаточен для решения конкретной задачи;
- отсутствуют разработанные алгоритмы либо знания, необходимые для конкретизации параметров алгоритмов, совместной визуализации, совмещения, измерений в разных каналах обработки данных;
- имеются вычислительные либо другие трудности реализации таких алгоритмов.

Недостатки первого подхода:

- потеря части информации об анализируемом объекте, внешней среде и т.п., связанной с корреляцией измерений в разных каналах;
- относительно большая продолжительность анализа в связи с тем, что приходится просматривать несколько индикаторов отображения данных, предоставляемых в различных каналах, а также необходимость их сопоставления;
- при большом количестве информационных каналов – необходимость игнорирования части из них при одновременном просмотре.

Второй подход предполагает использование алгоритмов автоматического синтеза единого информационного поля сложной системы. Принципиально он мало отличается от первого подхода за исключением разработки алгоритмов автоматического принятия решения о классифицируемых событиях по совокупности их признаков и наличия вычислительных ресурсов для их реализации. При реализации второго подхода могут использоваться традиционные методы обнаружения и распознавания анализируемых ситуаций по отдельным каналам, которые при обработке считаются независимыми. Однако такой подход имеет существенный недостаток, связанный с игнорированием корреляционных связей между анализируемыми признаками.

Учитывая, что взаимная неопределенность, энтропия послеопытного принятия решения определяется апостериорной вероятностью, то вероятность принятия правильного решения по совокупности признаков при первом и втором подходах можно принять равной сумме таких вероятностей. При искусственном принятии независимости зависимых событий расхождение истинной вероятности от принимаемой будет определяться произведением вероятностей принятия решений по отдельным признакам, определяемых степенью их корреляции. В результате неопределенность принятия решения с увеличением числа признаков достигает

некоторого предельного значения, преодолеть которое не представляется возможным.

Повысить информативность таких систем возможно в основном за счет повышения информативности отдельных каналов обработки поступающих данных. Например, в радиолокации для этого применяются шумоподобные сигналы, для которых база сигнала на уровне  $10^6$ – $10^7$  обеспечивает их большую информационную емкость [8].

На рис. 1а и 2а приведены блок-схема и схематичное представление результатов комплексной обработки для устройств, реализующих первый и второй подходы к формированию единого информационного поля сложных систем.

Наиболее эффективными, как показывают исследования [9], являются алгоритмы формирования

единого информационного поля, обеспечивающие комплексную обработку на уровне первичных данных, поступающих по отдельным каналам (рис. 1б). Из рис. 2б видно, что при принятии решения с учетом взаимосвязи признаков неоднозначных решений не возникает. В этом случае потенциально обеспечивается возможность максимального использования информативности многомерного образа анализируемых объектов (событий, состояний). На этапах первичной обработки и классификации ситуаций (образов) в полной мере учитываются корреляционные связи анализируемых признаков, следовательно, снижается энтропия послеопытной обработки данных, а информативность системы возрастает. Однако при обработке многомерного признакового пространства (иногда называемой

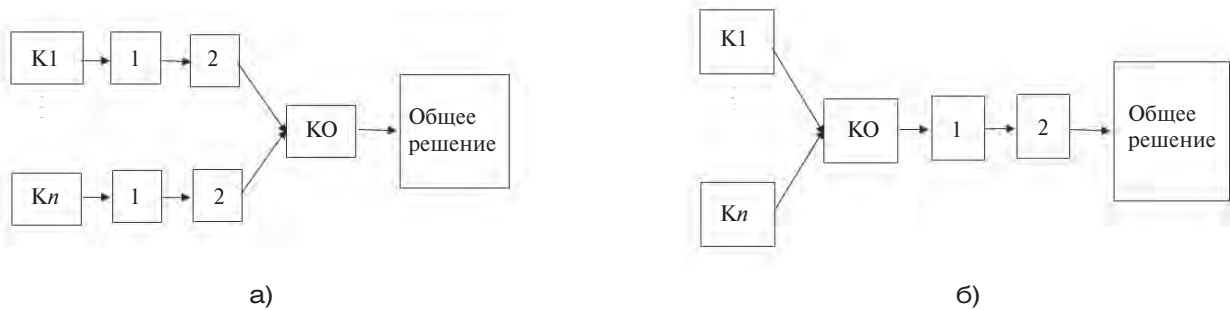


Рисунок 1. Блок-схема устройства формирования единого информационного поля при независимой обработке данных, поступающих по отдельным каналам (а) и при обработке с учетом корреляционных связей данных, поступающих по отдельным каналам (б):  $K_1$ – $K_n$  – каналы предоставления первичных данных; 1 – блоки обнаружения полезных сигналов; 2 – блоки классификации (распознавания); КО – блок комплексной обработки

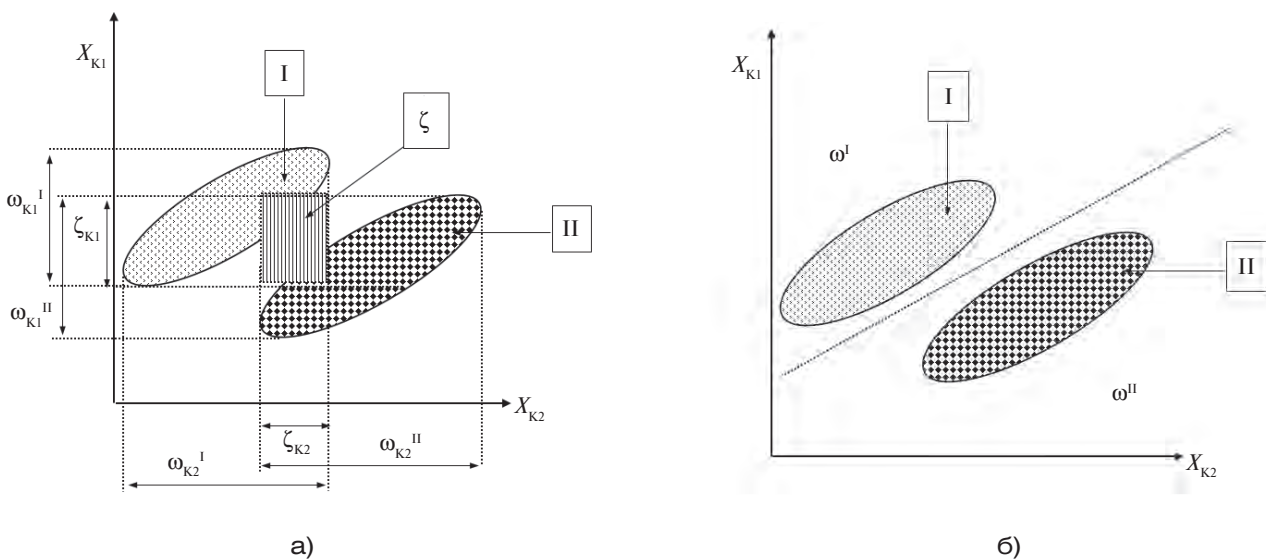


Рисунок 2. Схематичное представление результатов двухмерной комплексной обработки данных при принятии решения без учета коррелированности признаков (а) и с учетом корреляции признаков (б):  $X_{K1}$  ( $X_{K2}$ ) – область значений измеряемых признаков;  $\omega_{K1(2)}^{I(II)}$  – область решений, принимаемых по отдельным признакам, соответствующих объектам I и II;  $\zeta$  – область неоднозначного принятия решения как по отдельным признакам, так и по их совокупности;  $\omega^{I(II)}$  – области комплексных решений в отношении объектов I и II

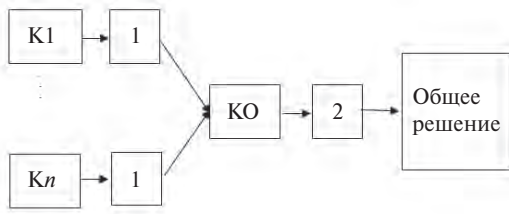


Рисунок 3. Блок-схема комбинированного устройства формирования единого информационного поля при комплексной обработке вторичных данных

многоспектральной обработкой), имеющего различную физическую природу, в том числе различные условия формирования шумовых и помеховых воздействий, возникает трудность определения единого порога обнаружения полезных сигналов.

Исходя из этого, при отсутствии эффективных алгоритмов обработки первичных данных возможно применение устройства, блок-схема которого показана на рис. 3. В данном устройстве комплексная обработка осуществляется по результатам принятия решения о наличии полезных сигналов в каждом отдельном канале. Однако в этом случае несколько снижается возможность селекции помеховых излучений за счет спектрального смещения в область спектра, где уровень помех существенно ниже.

В случае когда рассматриваются сложноорганизованные системы, элементы которых разнесены в пространстве, формирование единого информационного поля должно производиться с учетом значимости получаемой информации и качества передачи данных между соответствующими элементами сбора данных и единым центром их обработки. В результате к каналам передачи данных предъявляются требования по сохранению доминантной информации [10] в условиях зашумленности внешней среды.

### Анализ влияния структуры сложноорганизованных систем на распределение их ресурсов

Вариативный ряд изменения состояний информационных полей определяется изменением взаимодействия между структурными элементами сложных систем.

В общем случае обеспечение взаимодействия между элементами системы является необходимым, но недостаточным условием создания эффективной сложноорганизованной системы. Для эффективного функционирования таких систем требуется разработка структур, которые обеспечивали бы функционирование сложных систем по прямому назначению в течение длительного времени в соответствии с изменчивостью внешних условий.

При анализе необходимо учитывать особенность сложных систем: свойство системы в целом

не является результатом простого суммирования свойств ее отдельных элементов. Отсюда важной задачей является определение свойств системы, возникающих при интеграции в нее различных элементов, необходимых для ее применения. Как правило, структура сложноорганизованных систем военного назначения дифференцирована на подсистемы разведки, поражения, управления и обеспечения. При этом следует учитывать, что такое дифференцирование в первую очередь определяется традиционным распределением функций описанных подсистем. Различные варианты группирования могут производиться на техническом уровне без разрушения традиционно сложившихся структурных связей внутри системы, но при динамичном изменении функциональных связей между ее элементами. Поэтому при описании структуры рассматриваемых сложных систем и анализе их поведения следует учитывать их функциональное назначение, иерархическую структуру и порядок взаимодействия между элементами как внутри отдельной подсистемы, так и между элементами различных подсистем и внешней средой.

Существуют приемлемые подходы к формализации описания структурированности сложных систем и оценке их адаптивности к изменению внешней среды [1, 6].

Информационное описание поведения сложных систем, как правило, основывается на их сетевой структуре с учетом многоуровневого (иерархического) внутрисистемного построения и многовариантного взаимодействия структурных элементов. В результате формализация различных вариантов построения сложных систем характеризуется системной, собственной и взаимной сложностью структуры [6].

Системная сложность  $C_c$  включает содержание системы как целого и определяется ее функциональным предназначением. Собственная сложность  $C_o$  характеризует суммарную сложность элементов системы вне связи их между собой. В предельном случае, когда полностью отсутствуют (нарушены) связи между элементами системы, ее системная и собственная сложности структуры совпадают, а свойства системы есть совокупность свойств ее элементов:  $C_c = C_o$ .

Учитывая, что при независимости функционирования элементов иерархически построенной системы выбор исполнительного элемента со стороны вышестоящего звена управления равновероятен, то внутренняя структура децентрализованной системы может быть описана выражением:

$$C_o = \sum_{m=1, M} n_m \ln(k_{n_m}), \quad (2)$$

где  $k_{n_m}$  – число ветвей подчиненности исполнителей отдельному управляющему элементу, находящемуся на один ранг выше;  $n_m$  – количество однотипных двухуровневых структур в системе с равным количеством ветвей подчиненности;  $M$  – число различных вариантов двухуровневых структур в системе.

При усилении взаимодействия между элементами системы возникают новые свойства, определяющие систему как целое, а ее элементы в меньшей степени проявляют свою самостоятельность. В этом случае увеличивается число ветвей, подчиненных единому центру. Как следствие, вводится [6] так называемая взаимная сложность  $C_B$ , которая характеризует степень взаимодействия элементов в системе.

Системная и взаимная сложности структуры для систем, адаптивных к изменениям условий функционирования, как правило, непросто поддаются аналитическому описанию. Поэтому целесообразно применение различных способов имитационного моделирования при разной степени взаимодействия структурных элементов сложных систем.

Анализ соотношений между взаимной и собственной сложностью системы позволяет оценивать целостность системы и самостоятельность ее элементов. Для этого может использоваться ряд оценочных показателей [6].

Степень целостности (эмерджентность) системы определяется как отношение взаимной сложности к собственной сложности системы:

$$\alpha = C_B / C_O. \quad (3)$$

Для сложноорганизованных систем величина  $\alpha$  может интерпретироваться как характеристика устойчивости, управляемости системы или степени централизации управления ее элементами.

Степень самостоятельности элементов системы может быть определена посредством отношения системной сложности к ее собственной:

$$\beta = C_C / C_O. \quad (4)$$

Для рассматриваемых систем  $\beta$  интерпретируется как коэффициент использования элементов системы.

Для устойчивых систем справедливо соотношение:

$$\beta = 1 - \alpha. \quad (5)$$

При описании противодействия сложных систем военного назначения в динамике разведывательно-огневых действий важное значение имеет обеспечение возможности не только имитации или описания структур рассматриваемых систем, но и формализованное описание их поведения. В этом случае необходимо рассмотрение понятия «поведение»

системы, обусловленного воздействием внутренних и внешних факторов, определяющих его целесообразность. Система обладает свойством «поведение», если выполняются следующие условия:

- возможные воздействия объекта (системы) на окружающую среду или реакции объекта (системы) достаточно разнообразны;
- последовательность таких реакций совершается на основании некоторой системы правил, в большинстве случаев связывающих эти реакции с предыдущим, а иногда и прогнозируемым состоянием внешней среды;
- возможны реакции, которые представляются необусловленными или даже противоречащими системе правил, т.е. реакции системы могут быть непредсказуемыми или предсказуемыми лишь частично, что позволяет говорить об их вероятностном или стохастическом характере.

Анализ последовательности реакций системы на изменения внешней среды позволяет судить об их адекватности. Если установлены критерильные значения соответствия поведения системы изменениям внешней среды, то оно принимается целесообразным. Для установления таких соответствий первым условием является возможность описания различных состояний системы. Несомненно, что количество таких состояний может изменяться в широких пределах от малого числа до бесконечности.

Следующим условием установления соответствия между поведением сложных систем и изменениями внешней среды является определение условий изменения состояний и причин, их вызывающих. Реализовать данное условие позволяет уточнение требований к энергетическим, материальным и информационным ресурсам таких систем, описываемых системой уравнений (1).

Наличие достаточного информационного ресурса характеризует изменчивость состояний системы и ее способность адаптироваться к изменениям внешней среды. Качество адаптации системы к внешним условиям характеризуется диапазоном различных состояний, в которых она может пребывать, что, в свою очередь, определяется вариационным рядом сочетаний состояний ее элементов. Если система находится в движении (динамике, развитии), то сочетания непрерывно меняются. При этом если взаимосвязь элементов высокая (высокая степень централизации управления системы), то количество сочетаний без повторений гораздо больше, нежели для системы с разрушенными взаимными связями между элементами (подсистемами). Кроме того, каждое такое сочетание определенным образом воздействует на среду, окружающую систему



(приводит к изменению информационного поля). Сопоставление частоты изменений состояний сложных систем с типовым сценарием развития событий (боя) позволяет с определенной вероятностью прогнозировать последующие события.

Если некоторое сочетание может быть реализовано многими различными способами, оно оказывается преимущественным и встречается чаще. В результате при большом числе способов реализации одного сочетания состояний элементов неопределенность поведения системы низка, а вероятность прогнозирования ее состояний высока. Например, если большинство элементов системы уничтожено, то система в целом находится преимущественно в небоеспособном состоянии, а количество огневых задач, которое она способна выполнить, – низкое.

Чем в большей степени различны элементы системы, тем меньше число способов, которыми может быть реализовано то или иное отдельное сочетание. Число различных состояний оказывается бóльшим, а преимущественных состояний – меньшим. Система перестает стремиться к какому-нибудь одному состоянию, а процессы, происходящие в ней, характеризуются непрерывной сменой состояний, причем эти смены подчиняются внутренним законам функционирования системы.

В результате с информационной точки зрения взаимодействие двух противоборствующих сложных систем может рассматриваться в следующей интерпретации. Система, целостность которой выражена больше (высокая степень централизации управления) при неограниченных материальном, энергетическом и информационном ресурсах, в большей степени адаптивна к изменениям внешней среды. При высокой эффективности средств (системы) разведки противоборствующей системы (обеспечивает распознавание большей части состояний системы противника) потенциально возможно восстановление полного образа информационного поля, источником которого является группировка противника. В противном случае оценка состояний объектов противника произведена с ошибкой, определяемой дефицитом информационного ресурса.

В зависимости от изменчивости структуры сложной организованной системы, количества состояний, в которых она может находиться, ее поведение в той или иной мере может быть адекватно состоянию противника. В результате целесообразность поведения системы определяется адекватностью состояния  $S_j$  нашей системы состоянию  $S_i$  системы противника или степени соответствия изменения состояний нашей системы изменению состояний системы противника. В идеальном варианте это можно выразить как:

$$p(S_j / S_i) = \frac{p(S_j, S_i)}{p(S_i)} \Rightarrow 1; S_j \in S_{\text{нс}}; S_i \in S_{\text{пп}}, \quad (6)$$

где  $p(S_j / S_i)$  – вероятность перехода нашей системы в состояние  $j$  при условии, что система противника находится в  $i$ -м состоянии;  $S_{\text{нс}}$  ( $S_{\text{пп}}$ ) – множество всех возможных состояний нашей системы (противника), то есть поведение нашей системы может считаться в наибольшей степени целесообразным.

В случае полного несовпадения действий нашей системы действиям противника справедливо:

$$p(S_{\text{нс}}, S_{\text{пп}}) = p(S_{\text{нс}})p(S_{\text{пп}}). \quad (7)$$

При этом целесообразность поведения практически равна нулю.

Рассмотренным условиям в полной мере отвечает функция логарифма отношения вероятностей проявления состояний системы [2]:

$$C = \sum_{S_{\text{нс}}} \sum_{S_{\text{пп}}} p(S_j, S_i) \ln \left[ \frac{p(S_j, S_i)}{p(S_j)p(S_i)} \right] = \left[ - \sum_{S_{\text{нс}}} p(S_j) \ln[p(S_j)] \right] - \left[ - \sum_{S_{\text{пп}}} p(S_i) \sum_{S_{\text{нс}}} p(S_j / S_i) \ln[p(S_j / S_i)] \right]. \quad (8)$$

Как правило, разность в выражении (8) интерпретируется как мера уменьшения неопределенности, при этом уменьшаемое и вычитаемое называются соответственно априорной и апостериорной энтропиями состояния систем.

Анализ выражения (8) позволяет оценить возможность воздействия на систему противника со стороны нашей системы с позиции целесообразности ее поведения. Результатом такого воздействия должно быть снижение неопределенности данных о состоянии противника при одновременном увеличении вариационного ряда состояний нашей системы. Увеличение возможного числа состояний нашей системы, с одной стороны, приводит к росту неопределенности принятия решений для противника, с другой – повышает адаптивность нашей системы к изменению внешней среды. При этом необходимо стремиться к уменьшению дефицита информационного ресурса, который по аналогии может определяться выражением:

$$D_I = \sum_{i=1, M^R} p(S_i^R) \sum_{i=1, M} p(S_i / S_i^R) \ln[p(S_i / S_i^R)] - \sum_{i=1, M} p(S_i) \ln[p(S_i)], \quad (9)$$

где  $S_i \in \{S_{\text{пп}}\}$  – отдельное состояние системы противника, принадлежащее множеству всех возможных состояний, определяемых независимо от того,

ведется их разведка или нет;  $S_i^R \in \{S_{\text{расп}}\}$  – отдельное состояние системы противника, вскрытое и распознанное средствами разведки, принадлежащее множеству состояний, которые способна распознавать система разведки;  $p(S_i^R)$  – вероятность прогнозирования  $i$ -го состояния противника;  $p(S_i)$  – априорная вероятность  $i$ -го состояния противника;  $p(S_i / S_i^R)$  – вероятность правильного распознавания состояния противника при истинном  $i$ -м его состоянии.

Следующим важным свойством сложной системы, необходимым для целесообразного поведения, является ее надежность или устойчивость поведения. Иными словами, система должна быть способна многократно воспроизводить определенные реакции на определенные воздействия со стороны внешней среды, противника. Требование к устойчивости поведения относится как к поведению элементов системы или их взаимодействию, так и к определенным материальным и энергетическим ресурсам.

В результате система, обладающая свойством «поведение», есть материальный объект, взаимодействующий с внешней средой на материальном, энергетическом и информационном уровнях.

### Выводы

Таким образом, РПС (РОС) различного уровня, как и любые сложные системы, должны обладать материальными, энергетическими и информационными ресурсами. Каждый ресурс, в свою очередь, состоит из двух составляющих, которые условно можно назвать рабочей и обеспечивающей. Рабочая часть непосредственно участвует как в процессах, происходящих внутри системы, так и в метаболизме. Это переменные ресурсы системы.

Обеспечивающая часть ресурса привлекается к действию по мере необходимости для пополнения убыли в рабочей части. Она вводится в действие, когда возникает необходимость восстановить структуру системы, нарушенную в результате естественного износа или взаимодействия с внешней средой (например, в условиях огневого воздействия со стороны противника).

С учетом сетевой структуры системы в целом распределение ресурсов на каждом уровне должно осуществляться по сетевому принципу, следовательно, и взаимодействие элементов системы, представляющих тот или иной ресурс, должно реализовываться по сетевой схеме.

Приоритетность снижения информационного ресурса противоборствующей системы, в том числе за счет деградации материального и энергетического ресурсов, позволяет рассматривать в едином ключе эффективность применения средств огневого, радиоэлектронного и других типов поражения.

Возможность оперативной оценки собственного ресурса и анализ его дефицита при наличии сетевой структуры построения сложных систем военного назначения позволяют адаптировать взаимодействие функциональных подсистем РПС (РОС) к состоянию внешней среды при рациональном использовании материальных, энергетических и информационных ресурсов. Помимо этого, предлагаемый подход потенциально позволяет прогнозировать потребности в описанных ресурсах и оптимизировать требования к ним на этапе разработки технических средств, предназначенных для интеграции в структуру сложных иерархических самоорганизующихся систем военного назначения при формировании информационного поля в едином информационном пространстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федулов А.А., Федулов Ю.Г. и др. Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: Статистика, 1979. 279 с.
2. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушкин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
3. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии / под ред. А.А. Бобрикова. СПб.: Галлея Принт, 2006. 424 с.
4. Колесник В.Д., Полтырев Г.Ш. Курс теории информации. М.: Наука, 1982. 411 с.
5. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Энергия, 1989. 543 с.
6. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: СПбГПУ, 2004. 520 с.
7. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. М.: Советское радио, 1972. 744 с.
8. Барабанов А.Д., Птицын С.О., Ткаченко В.П. Анализ возможности повышения разрешающей способности РЛС сопровождения при использовании шумоподобных сигналов для пространственно-временной обработки // Проблемы транспорта. 2001. Вып. 5. С. 128–131.
9. Белоглазов И.Н., Казарин С.Н., Косьянчук В.В. Обработка информации в иконических системах навигации, наведения и дистанционного зондирования местности. М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. 368 с.
10. Умбиталиев А.А., Цыцулин А.К., Левко Г.В. и др. Теория и практика космического телевидения. СПб.: НИИ телевидения, 2017. 368 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Птицын Сергей Олегович**, к.т.н., начальник отдела, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Российская Федерация, 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д.37, лит. А, тел.: 8 (911) 770-08-16, e-mail: pticin\_so@radar-mms.com.

*For citation: Ptitsyn S.O. Justification of applicability of the information approach to description of military complicated-organization technical systems operation. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 9, pp. 52–62. DOI 10.21778/2218-5453-2019-9-52-62*

S.O. Ptitsyn

## JUSTIFICATION OF APPLICABILITY OF THE INFORMATION APPROACH TO DESCRIPTION OF MILITARY COMPLICATED-ORGANIZATION TECHNICAL SYSTEMS OPERATION

It is proposed analysis of possibility to use information indexes for description and efficiency estimation of military complicated-organization technical systems under conditions of countermeasures on energetic, material and information levels. Conditions of information resource increasing and adaptability of complicated-organization systems to environment at confrontation from analogous enemy's systems are considered. The main properties of complicated-organization hierarchically structured technical systems are described, the main principles of formation of their common information field in frames of local information space are considered, dependence of such systems' information resource on their structural complexity and realized principles of information fields formation is shown. The proposed information approach allows estimate interaction of various complicated-organization systems from the common indexes point of view, also under countermeasures conditions and considering metabolism of material, energetic and information resources. In result, at creation of the considered systems the potential possibility of indicated resources redistribution control to provide the required efficiency of arising tasks solution appears.

**Keywords:** entropy, dominant information, complicated-organization hierarchically structure, information resource

## REFERENCES

1. Fedulov A. A., Fedulov Yu. G., et al. *Vvedenie v teoriyu statisticheski nenadezhnykh reshenii* [Introduction to the theory of statistically unreliable solutions]. Moscow, Statistika Publ., 1979, 279 p. (In Russian).
2. Shileiko A. V., Kochnev V. F., Khimushkin F. F. *Vvedenie v informatsionnyu teoriyu sistem* [Introduction to the information theory of systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1985, 280 p. (In Russian).
3. Bobrikov A. A., editor. *Otsenka effektivnosti ogneвого porazheniya udarami raket i ognem artillerii* [Evaluation of the effectiveness of fire damage by missile strikes and artillery fire]. Saint-Petersburg, Galleya Print Publ., 2006, 424 p. (In Russian).
4. Kolesnik V. D., Poltyrev G. Sh. *Kurs teorii informatsii* [Information theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 411 p. (In Russian).
5. Nikolskii V. V., Nikolskaya T. I. *Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln* [Electrodynamics and propagation of radio waves]. Moscow, Energiya Publ., 1989, 543 p. (In Russian).
6. Volkova V. N., Denisov A. A. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of systems theory and system analysis]. Saint-Petersburg, SPbGPU Publ., 2004, 520 p. (In Russian).
7. Van Trees H. L. *Detection estimation and modulation theory*. Vol. 1. Wiley, 1968.
8. Barabanov A. D., Ptitsyn S. O., Tkachenko V. P. Analysis of the possibility of increasing the resolution of radar tracking when using noise-like signals for spatio-temporal processing. *Problemy transporta*, 2001, iss. 5, pp. 128–131. (In Russian).
9. Beloglazov I. N., Kazarin S. N., Kosyanchuk V. V. *Obrabotka informatsii v ikonicheskikh sistemakh navigatsii, navedeniya i distantsionnogo zondirovaniya mestnosti* [Information processing in iconic navigation, guidance and remote sensing systems]. Moscow, Izdatelstvo fiziko-matematicheskoi literatury Publ., 2012, 368 p. (In Russian).
10. Umbataliev A. A., Tsytsulin A. K., Levko G. V., et al. *Teoriya i praktika kosmicheskogo televideniya* [Theory and practice of space television]. Saint-Petersburg, NII televideniya Publ., 2017, 368 p. (In Russian).

## AUTHOR

**Ptitsyn Sergey**, Ph. D., chief of the department, «NPP «Радар ммс» JSC, 37A, Novoselkovskaya St., Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, tel.: +7 (911) 770-08-16, e-mail: pticin\_so@radar-mms.com.