

**СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ИНТЕРЕСАХ ЭФФЕКТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ
РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

В.В.Уткин, А.П. Ратушин, А.С. Босый, И.В. Коликов (Череповец)

Происходящая в настоящее время трансформация форм и способов ведения противоборства в локальных войнах и вооруженных конфликтах наряду с новыми тенденциями в развитии военного искусства, развитием технологий вооружения, связи и контроля приводят к усложнению задачи моделирования радиоэлектронной обстановки (РЭО), характерной для ведения радиоэлектронного контроля (РЭК). Это приводит к повышению актуальности разработки и исследования множества компонентных моделей, многосторонне описывающих РЭО, как инструмента поддержки принятия решений на применение сил и средств РЭК.

Базовым элементом моделирования РЭО служит источник радиоизлучений (ИРИ) в виде радиоэлектронного средства (РЭС), являющегося компонентом сети связи или средством радиотехнического обеспечения. Множество неоднородных РЭС составляет систему связи и радиотехнического обеспечения (ССиРТО) в полосе контроля. Целостность ССиРТО обеспечивается общей целью функционирования, внутренним единством взаимодействующих составных частей с точки зрения реагирования на внешние воздействия окружающей среды.

В настоящее время выработка большинства решений на применение сил и средств РЭК основывается на сравнительном анализе потенциального количества ИРИ в полосе контроля с учетом априорных сведений о характеристиках используемых объектами контроля РЭС, структурах его сетей связи, возможностях по добыванию и обработке сведений средствами РЭК [1]. Решения при использовании данного подхода принимаются на основе исследования моделей РЭО, отражающих оперативную обстановку, в число которых входят модели объектов контроля и модели их поведения в различных условиях. Принципиальная невозможность учета в таких моделях множества факторов физической среды распространения радиосигналов различных диапазонов частот, существенно влияющих на электромагнитную доступность ИРИ, ограничивает качество принимаемых решений. Аналогичные ограничения характерны и с точки зрения учета особенностей формирования радиосигналов, а также функционирования сетей связи и средств радиотехнического обеспечения. Следовательно, существующие модели не адекватны существующим возможностям описания РЭО, ввиду чего оценивание потенциальных возможностей применения сил и средств РЭК в современных условиях становится неприемлемым.

Целью статьи является систематизация и обоснование применения множества современных компонентных моделей РЭО, позволяющего объективно учитывать априорные данные о составе и состоянии объектов контроля, структуре и состоянии зарубежных систем связи и средств радиотехнического обеспечения, а также особенностях среды распространения излучений РЭС.

Стратифицированное представление моделей, применяемых при разработке сценариев применения сил и средств РЭК

Несмотря на актуальность комплексного подхода к проектированию модели РЭО как основного инструмента разработки сценариев применения сил и средств РЭК, до настоящего времени исследования велись главным образом в направлении

разработки и исследования компонентных моделей. В целях реализации объединения компонентных моделей, отражающих различные частные аспекты РЭО, требуется выработка механизма проектирования комплексной модели, позволяющей описать РЭО с использованием системного подхода.

Очевидно, что чем меньше компонентов и их свойств будет входить в состав комплексного описания РЭО, тем оно будет более компактным, а решаемая задача – менее сложной. Поэтому поставленную задачу можно будет решить, однако точность решения будет низкой. Если же увеличить количество описываемых компонентов, то точность описания будет выше, но из-за сложности задачи, найти ее решение не всегда возможно. Поэтому при составлении требуемого комплексного описания РЭО целесообразно использовать наиболее экономный вариант, а затем наращивать его с одновременным оцениванием сложности.

Ввиду необходимости учета множества неоднородных факторов современная РЭО может быть рассмотрена как многоуровневая система, обладающая структурой и подчиняющаяся иерархическому принципу взаимодействия компонентов.

В теории систем [2] известен особый класс иерархических структур, описывающий различные принципы взаимодействия компонентов в пределах каждого уровня и различные правила вмешательства компонентов вышестоящего уровня в структуру взаимодействия компонентов нижестоящих уровней.

При описании сложных систем (объектов) основная проблема состоит в поиске компромисса между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемой или проектируемой системе, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретной системы. Один из путей решения такой проблемы заключается в задании системы множеством моделей, каждая из которых описывает его состояние или поведение с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня возможны особые законы и правила, описывающие состояние или поведение системы на данном уровне. Такое описание системы называется стратифицированным, а уровни абстрагирования – стратами [2].

Для формализации стратификации определим исходную систему CS как систему, осуществляющую некое функциональное преобразование F входного множества Ψ в выходное множество Z :

$$CS : F(\Psi) \rightarrow Z \quad (1)$$

Показано [2], что стратификация системы (объекта) возможна, если множества входной Ψ и выходной Z информации представимы в виде декартовых произведений (\otimes) , т.е. если входная и выходная информация образует два базиса:

$$\Psi = (\Psi_1 \otimes \dots \otimes \Psi_i \otimes \dots \otimes \Psi_n); \quad Z = (Z_1 \otimes \dots \otimes Z_i \otimes \dots \otimes Z_m), \quad (2)$$

где n – число входных данных, m – число выходных данных.

В этом случае система CS может быть описана в виде совокупности из n страт.

Возможно показать, что РЭО, рассматриваемая авторами как многоуровневая система, на основе предложенного объективного критерия с целью многостороннего оценивания РЭО может быть представлена пятью стратами:

- 1) страта оперативной обстановки в полосе контроля (рисунок 1);
- 2) страта функций ССирТО (рисунок 2);
- 3) страта структуры ССирТО (рисунок 3);
- 4) страта сигналов ССирТО (рисунок 4);
- 5) страта применения ССирТО (рисунок 5).

Модели, относящиеся к первой страте описания РЭО, разрабатываются и исследуются учеными по военным наукам в направлении повышения эффективности

управления силами и средствами РЭК. Модели, относящиеся к остальным стратам, направлены на повышение эффективности применения сил и средств РЭК.

Зададим входные параметры первой страты произведением

$$\Psi_1 = \psi_{11} \otimes \dots \otimes \psi_{1l} \otimes \dots \otimes \psi_{1L_1}, \quad (3)$$

где L_1 – число входных параметров первой страты.

Страта оперативной обстановки в полосе контроля отражает самое общее описание РЭО и содержит модели двух классов:

1. модели, учитывающие материальные аспекты определяющей РЭО боевой обстановки (в первую очередь, возможности огневого поражения, живучести);

2. модели, учитывающие информационные аспекты определяющей РЭО боевой обстановки (цели и функции управления, связи, контроля, радиоэлектронного подавления, имитации).

Указанные модели используются для постановки функциональных технических задач для ССиРТО, а именно наблюдения, оценивания текущего состояния, вскрытия причин изменения состояний, прогнозирование изменения состояний. Подобные задачи решаются при помощи моделей нижестоящих страт.



Рис.1– Страта оперативной обстановки в полосе контроля

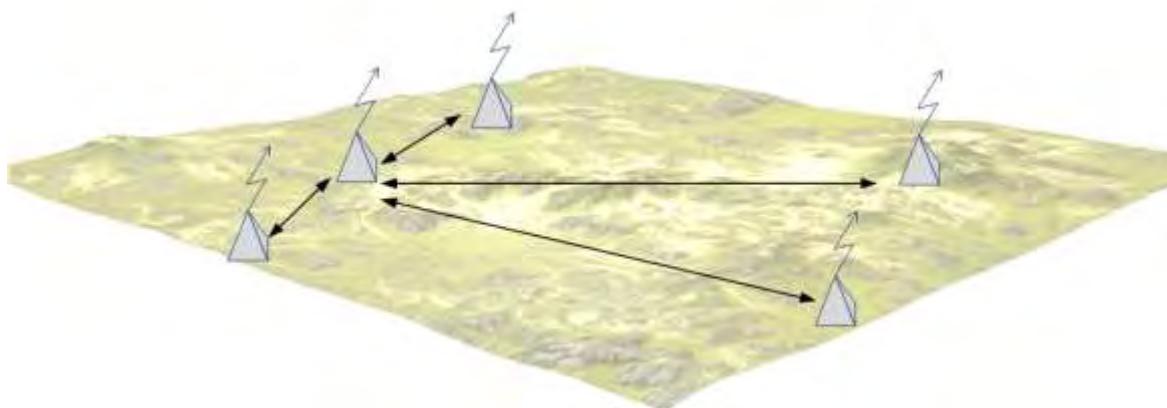


Рис.2 – Страта функций ССиРТО

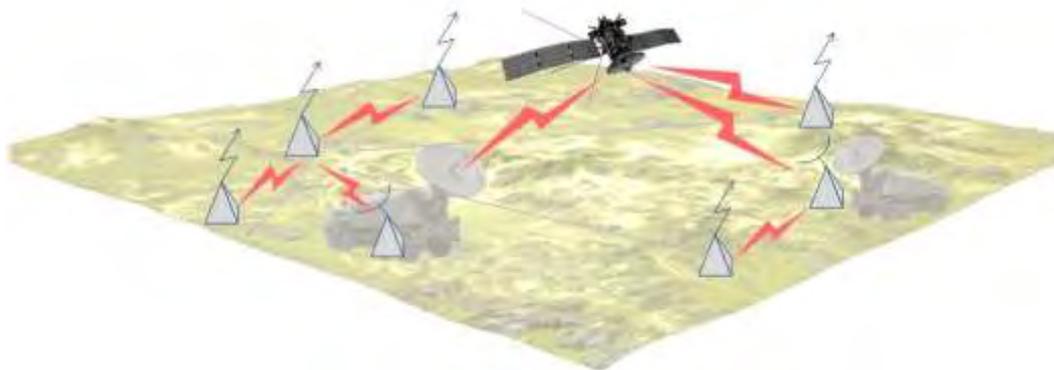


Рис.3 – Страта структуры ССиРТО

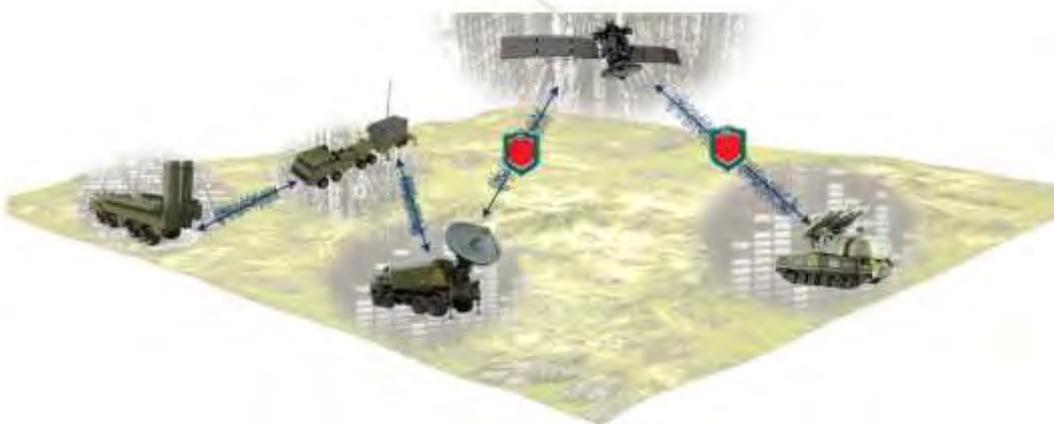


Рис.4 – Страта сигналов ССиРТО



Рис.5 – Страта применения ССиРТО

Страта функций ССиРТО отражает модели, учитывающие организационные структуры связных радиосетей / радионаправлений и сетей средств РТО, модели их адаптивного поведения при влиянии различных факторов, модели взаимовлияния и взаимодействия сетей, модели отношений с другими подобными системами. Модели данной страты позволяют сформировать функциональный облик ССиРТО, который включает составные части (сети связи и РТО) и взаимодействия между ними, обеспечивающие решение функциональных задач.

Зададим входные параметры страты функций ССиРТО произведением

$$\Psi_2 = \psi_{21} \otimes \dots \otimes \psi_{2l} \otimes \dots \otimes \psi_{2L_2}, \quad (4)$$

где L_2 – число входных параметров данной страты.

Страта структуры ССиРТО содержит модели РЭС как структурных компонентов систем связи и радиотехнических систем, модели их составных частей, а также модели, отражающие связи и способы взаимодействия РЭС, в том числе в случае адаптивного изменения условий функционирования. Модели данной страты нацелены на решение обеспечивающих технических задач, решение которых приводит к решению функциональных задач, характерных страте функций ССиРТО.

Зададим входные параметры страты структуры ССиРТО произведением

$$\Psi_3 = \psi_{31} \otimes \dots \otimes \psi_{3l} \otimes \dots \otimes \psi_{3L_3}, \quad (5)$$

где L_3 – число входных параметров данной страты.

Страта сигналов ССиРТО содержит модели, также нацеленные на решение обеспечивающих технических задач и отражающие способы многоэтапного формирования сигналов систем связи и радиотехнических систем, способы адаптации параметров сигналов при изменении условий передачи. Модели сигналаобразования лежат в основе современных исследований по организации радиосвязи и способов радиотехнического обеспечения войск. Они неотъемлемы и при проектировании перспективных методов передачи и приема информации, что подтверждается результатами деятельности научных школ ведущих гражданских и военных научно-исследовательских организаций и высших учебных заведений [3].

Зададим входные параметры страты сигналов ССиРТО произведением

$$\Psi_4 = \psi_{41} \otimes \dots \otimes \psi_{4l} \otimes \dots \otimes \psi_{4L_4}, \quad (6)$$

где L_4 – число входных параметров данной страты.

Страта применения ССиРТО оперирует моделями, описывающими условия функционирования РЭС в ее составе, а именно, моделями сред распространения радиоизлучений, каналов передачи сигналов для различных сред, воздействия шумов различной природы и противодействия объектов контроля, а также моделями движения РЭС, сетей связи и средств радиотехнического обеспечения. Модели каналов, описывающие процессы изменения основных физических параметров радиоволн при воздействии среды передачи, базируются на законах распространения радиоволн в воздушной среде [5], учете в точке приема переотраженных радиосигналов и влиянии побочных излучений сторонней радиоэлектронной аппаратуры. Развитие таких моделей осуществляется на основе фундаментальных исследований в области радиофизики, электродинамики и распространения радиоволн [6, 7].

Зададим входные параметры страты применения ССиРТО произведением

$$\Psi_5 = \psi_{51} \otimes \dots \otimes \psi_{5l} \otimes \dots \otimes \psi_{5L_5}, \quad (7)$$

где L_5 – число входных параметров данной страты.

Модели данной страты нацелены на решение обеспечивающих технических задач и применяются в целях оценивания структур и возможностей ССиРТО по достижению требуемых скорости и достоверности информационного обмена, а также выявления ограничений на их применение.

Таким образом, текущая РЭО рассматривается как реализация стратифицированного представления множества компонентных моделей, сформированная с учетом требований по обеспечению требуемого качества и

содержания априорных данных о контролируемой ССиРТО объектов контроля, математическая модель, которой может быть описана в следующем виде:

$$CS : F(\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4, \Psi_5) \rightarrow Z(Z_1, \dots, Z_m), \quad (8)$$

где Z – множество выходных данных.

Рассмотрим пример некомплексного подхода к проектированию модели РЭК, когда в процессе разработки сценариев применения сил и средств маневренной группы РЭК не были учтены множество факторов электромагнитной доступности ИРИ. В рамках рассматриваемого стратифицированного представления РЭО данный факт выражается в игнорировании входных параметров страты применения, оказывающих существенное влияние на результат моделирования.

Пусть маневренная группа РЭК выдвинулась в район оперативного предназначения. На предварительном этапе была проведена рекогносцировка местности с учетом информации о рельефе данного района и условий жизнеобеспечения. Электромагнитная доступность ИРИ в полосе контроля была оценена с учетом геометрического фактора рельефа, углов закрытия и т.п., с учетом известных методик и доступных инструментов. После выбора позиции на господствующей высоте и развертывания сил и средств маневренной группы в начальный период работы группы, во время которого проводится массированный поиск ИРИ, было отмечено факт отсутствия доступности ИРИ, которые согласно априорно известной оперативной обстановки находятся в полосе контроля.

Дополнительный анализ ситуации показал, что при планировании применения сил и средств маневренной группы не был учтен фактор существенного поглощения радиоволн рабочего диапазона частот выше 3 ГГц [8] в гидрометеорах (рисунок 6). Так в районе позиции часто наблюдались плотный мелкодисперсный туман и крайне высокая абсолютная влажность, вызванная низкой облачностью.

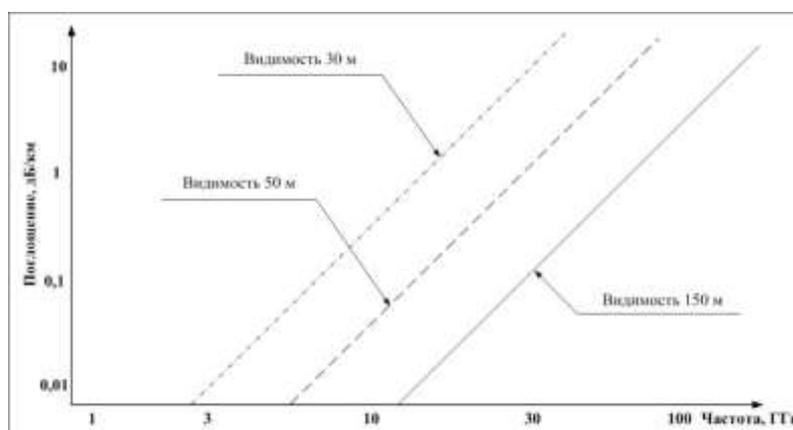


Рис.6 – Зависимость коэффициента поглощения в дБ/км от частоты ИРИ для трех значений интенсивностей гидрометеоров

Рассмотренный пример наглядно показывает, что комплексный подход к проектированию модели РЭО, в том числе учет множества факторов физической среды распространения радиосигналов различных диапазонов частот, существенно влияющих на электромагнитную доступность ИРИ, позволяет эффективно принять решение на применение сил и средств подразделений РЭК.

Таким образом, в работе было показано, что множество современных компонентных моделей РЭО может быть систематизировано на основе

стратифицированного представления, которое позволяет учитывать оперативное построение объектов контроля, состояние его ССиРТО, особенности среды распространения радиоизлучений.

Результаты проведенного авторами анализа показали, что в большинстве случаев принятие решений на применение сил и средств РЭК основано на сравнительном анализе потенциального количества ИРИ, с учетом лишь части факторов. В частности, принципиальная невозможность учета в моделях РЭО множества факторов физической среды распространения радиосигналов различных диапазонов частот, существенно влияющих на электромагнитную доступность ИРИ, ограничивает качество принимаемых решений. Данный факт наглядно иллюстрирует рассмотренный в работе пример. При классическом подходе к созданию модели РЭО, в частности при оценивании электромагнитной доступности ИРИ, когда учитывается ограниченное множество факторов (углы закрытия и т.п.), качество принимаемых решений при планировании сил и средств РЭК объективно хуже, что выражается, например, в необходимости смены первоначальной позиции подразделения РЭК или принятия других решений, направленных на повышение или восстановление электромагнитной доступности ИРИ.

При применении предложенного стратифицированного подхода к моделированию РЭО, в частности, когда при оценивании электромагнитной доступности ИРИ учитывается влияние большого количества факторов распространения радиоизлучений, качество принимаемых решений по планированию применения сил и средств РЭК существенно выше, что определяет необходимость в разработке специального программного обеспечения, доступного для использования подразделениями РЭК, по имитации и расчету электромагнитной доступности ИРИ, учитывающего не только геометрический фактор рельефа местности, а более расширенный диапазон условий распространения радиоволн в средах с различными факторами затухания, взаимного размещения антенн средств ИРИ и средства РЭК, также типа подстилающей поверхности трассы распространения.

В рамках статьи авторы вынесли в ограничения учет того факта, что современная РЭО характеризуется высокой динамикой изменений, вызванных различными факторами, в том числе модификациями целей и способов решения задач объектами контроля, структурными модификациями ССиРТО, территориальным перемещением компонентов ССиРТО, следовательно дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ стратифицированной модели РЭО как динамической многоуровневой системы.

Литература

1. **Бойко А.А.** Способ аналитического моделирования боевых действий // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №2.
2. **Месарович М.** Основания общей теории систем / Общая теория систем. М.: Мир, 1966. С. 15-48.
3. **Кудряшов Б.Д.** Основы теории кодирования. – СПб: БХВ-Петербург, 2016.
4. **Сидельников В.М.** Теория кодирования. – М.: Физматлит, 2008.
5. Рекомендация МСЭ-Т У.2062.
6. **Кураев А.А., Попкова Т.Л., Сеницын А.К.** Электродинамика и распространение радиоволн. – М: Новое знание, 2013.
7. **Никольский В.В., Никольская Т.И.** Электродинамика и распространение радиоволн. – М: Либроком, 2017.
8. **Долуханов М.П.** Распространение радиоволн. – М. Связь, 1972.