

УДК 621.396.67

А. А. Лаврут

Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ “КПИ”, Полтава

## ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ПОМОЩИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА

*Показано, что снизить затраты на разработку и эксплуатацию национальной системы спутниковой связи можно ориентируясь на создание системы, которая позволяла бы решать проблему оперативности доставки сообщения в различной помеховой обстановке на основе использования динамического изменения режима функционирования. Применяя идею тензорного анализа, возможно одновременно учитывать противоречивые параметры системы и воздействующие на нее факторы в изменяющихся условиях, сохраняя целостность ее рассмотрения.*

**Ключевые слова:** спутниковая связь, алгоритм функционирования, тензорный анализ.

### Введение

Руководство видов и родов войск должны обеспечивать быстрое, устойчивое, надежное, непрерывное и гибкое управление боевыми соединениями и частями как в мирное, так и в военное время не только на территории Украины, но и за ее пределами (при выполнении миротворческих операций). Повысить эффективность управления частями возможно за счет внедрения системы спутниковой связи во все органы управления. Это позволит оперативно и надежно передавать необходимую информацию и организовывать связь на необорудованных районах. С помощью спутниковой связи командование будет иметь возможность своевременно и качественно доводить до объектов управления соответствующие приказы и обеспечивать контроль за их выполнением [1].

В соответствии с “Загальнодержавною ціллювою науково-технічною космічною програмою України на 2008 – 2012 роки” и законом Украины “Про космічну діяльність” одними из приоритетных направлений являются: внедрение космической деятельности в интересах национальной безопасности и обороны Украины, а также других центральных органов исполнительной власти, предприятий всех форм собственности, которые входят в Единую общегосударственную систему связи Украины; военно-теоретические научные исследования по вопросам использования космических систем в интересах национальной безопасности и обороны, разработки нормативно-технического обеспечения использования космических систем и средств военного и двойного назначения; опытно-конструкторские работы по созданию космических систем и средств двойного назначения [2 – 7].

Система спутниковой связи (ССС) двойного назначения является сложной системой, на эффек-

тивность работы которой влияют множество как внешних, так и внутренних параметров. Учесть множество этих параметров для возможности реализации динамического изменения режима функционирования ССС с учетом сложившейся помеховой обстановки “традиционного” математического аппарата не представляется возможным.

Таким образом, **целью статьи** является рассмотрение возможности использования тензорного анализа для реализации динамического изменения режима функционирования ССС.

### 1. Особенности системы спутниковой связи двойного назначения

Согласно данному направлению [2, 3, 4] экономически не целесообразно строить независимые ССС военного и гражданского назначения. Предпочтительным следует считать построение системы, позволяющей в мирное время использовать ее как гражданско-военную, а в особый период как военно-гражданскую, с возможностью быстрого перераспределения ресурсов при переходе из состояния “мирного времени” в состояние “чрезвычайной ситуации”.

Аппаратура и емкости коммерческих систем связи становятся неотъемлемой частью современных военных систем связи, обеспечивая низкие затраты, высокую пропускную способность и новые виды обслуживания военных абонентов.

Создание перспективной ССС требует оптимального сочетания военного и коммерческого сегментов [2 – 7].

Оптимальная архитектура современных ССС должна включать как специализированные спутники военной связи, так и каналы, арендованные в гражданских системах.

Отсюда вытекают требования, предъявляемые к такой системе:

- выполнение поставленных задач в любых условиях обстановки;
- обеспечение работы в мирное время с использованием полосно-эффективных сигналов;
- возможность отбора всех ресурсов системы в условиях радиоэлектронной борьбы;
- обеспечение помехозащищенности каналов связи при воздействии средств радиоэлектронной борьбы;
- обеспечение многостанционного доступа большого числа мобильных ЗС (в том числе самолетных и корабельных) в условиях воздействия преднамеренных помех;
- возможность неоптимального использования ресурса бортового ретранслятора, т.е. переход на помехозащищенные широкополосные сигналы, снижение скорости передачи информации в интересах выполнения требований по устойчивости связи и управления;
- обеспечение скрытности передачи информации и защиты системы от дезорганизации ее работы со стороны противника;
- возможность быстрого вхождения в синхронизм в условиях естественных и преднамеренных помех;
- возможность использования ресурсов других систем спутниковой связи.

То есть, с одной стороны, такая ССС должна обеспечивать высокую пропускную способность, скорость передачи информации, эффективное использование ресурса бортового ретранслятора, а с другой стороны, должна быть помехозащищенной и скрытной (что влечет за собой большие затраты на построение таких систем). Очевидно, что эти факторы являются взаимоисключающими. Возникает противоречие между требованиями, которые предъявляются к системе в мирное время, и теми требованиями, которые необходимо обеспечить в условиях воздействия сильных преднамеренных помех. Учесть эти противоречия можно только путем комплексного применения как организационных, так и технических мер, т.е. учета основных воздействующих факторов. Это предполагает возможность использования маневра частотами, стволами, бортами для передачи информации под управлением центральной станции, что, в свою очередь, требует создания и постоянного обновления базы данных центральной станции, в которой должна содержаться вся информация о сети и возможных источниках помех. Также это предусматривает собой необходимость использования сигнально-кодовых конструкций различного типа в зависимости от сложившейся на данный момент помеховой обстановки в сети.

Снизить затраты на разработку, производство, развертывание и эксплуатацию национальной ССС можно, ориентируясь на создание системы, которая

позволяла бы решать проблему оперативности доставки сообщения в различной обстановке на основе использования динамического изменения режима функционирования.

Проектирование систем осуществляется математическими методами и требует математического описания системы, разработки математической модели.

Установить взаимосвязь между основными воздействующими факторами возможно только в рамках модели, содержащей внутренние и внешние параметры системы спутниковой связи, которые наиболее адекватно отображают реальные характеристики системы и алгоритмы ее функционирования в различных условиях обстановки.

Система связи характеризуется внешними и внутренними параметрами  $y_i$  и  $x_i$  соответственно [8]. Внешние параметры описывают систему с точки зрения заказчика или потребителя, а внутренние параметры – разработчика, проектировщика. Строгой границы между внутренними и внешними параметрами не существует. В частности, некоторые параметры системы могут быть одновременно и внутренними, и внешними.

С математической точки зрения внутренние параметры играют роль “независимых переменных” задачи проектирования и однозначно определяют значения внешних, которые, в свою очередь, определяют эффективность системы. Чаще всего внутренние параметры редко бывают полностью независимыми: выбор одного из них влияет на значения других [8].

Внешние и внутренние параметры каждой системы связаны определенными зависимостями. Представим каждый из внешних параметров системы в виде функции ее внутренних параметров [8]:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ &\dots\dots\dots \\ y_m &= f_m(x_1, x_2, \dots, x_n). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Равенства вида (1) можно назвать уравнением связи  $F(x, y)$  между внешними и внутренними параметрами. Уравнения связи  $F(x, y)$  отображают структуру системы, алгоритмы ее функционирования, статистические характеристики канала связи и т. д. и представляют собой математическую модель проектируемой системы связи. Такая модель системы является основой ее исследования математическими методами.

Структурная схема модели системы спутниковой связи представлена на рис. 1. Для полного описания внутренних параметров модели была проведена декомпозиция и система была представлена в виде четырех основных компонентов: бортового ретранслятора, среды распространения; земного

сегмента, включающего абонентские станции и центральную управляющую станцию; а также поставщиков помех. Каждый из компонентов системы

можно выразить функциональной зависимостью (2), описывающей взаимосвязь внутренних параметров и алгоритмов функционирования.

$$\left. \begin{aligned} &\Omega_{бр} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, A_{пп} \right\}, \\ &\Omega_{цзс} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{зс.прм}, \Omega_{впп}, A_{аф}, A_{ау}, A_{пп} \right\}, \\ &\Omega_{зс.прд} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{пп}, \Omega_{бр}, \Omega_{цзс}, A_{аф}, A_{ау}, A_{пп} \right\}, \\ &\Omega_{зс.прм} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, \Omega_{впп}, \Omega_{бр}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{цзс}, A_{аф}, A_{ау}, A_{аа}, A_{пп} \right\}, \\ &A_{аф} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{зс.прм}, \Omega_{впп}, \Omega_{цзс}, A_{пп} \right\}, \\ &A_{ау} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{зс.прм}, \Omega_{впп}, \Omega_{цзс}, A_{пп} \right\}, \\ &A_{аа} \left\{ \Omega_{ср}, \Omega_{пп}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{зс.прм}, \Omega_{впп}, A_{пп} \right\}, \\ &A_{мс} \left\{ \Omega_{пп}, \Omega_{зс.прд}, \Omega_{зс.прм}, \Omega_{впп}, \Omega_{цзс}, A_{пп} \right\}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\Omega_{бр}$  – характеристики бортового ретранслятора;  
 $\Omega_{зс.прд}$  – характеристики земной станции передающей;  
 $\Omega_{зс.прм}$  – характеристики земной станции приемной;  
 $\Omega_{цзс}$  – характеристики центральной земной станции;  
 $\Omega_{пп}$  – характеристики наземного постановщика помех;

$\Omega_{впп}$  – характеристики воздушного постановщика помех;  
 $\Omega_{ср}$  – характеристики среды распространения;  
 $\Omega_{сист.х}$  – системные характеристики;  
 $A_{аф}$  – алгоритм функционирования;  
 $A_{аа}$  – алгоритм адаптации;  
 $A_{ау}$  – алгоритм установления соединения;  
 $A_{пп}$  – алгоритм воздействия постановщика помех.

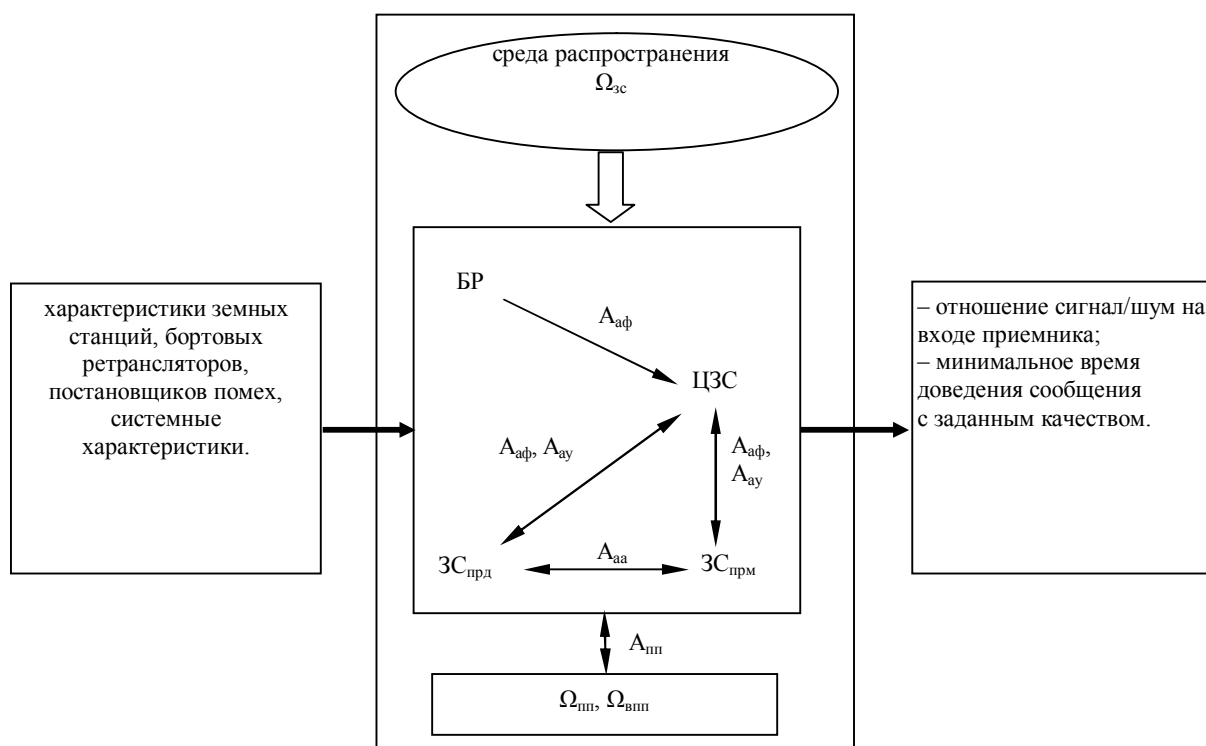


Рис. 1. Структурная схема модели системы спутниковой связи

Обобщенный функционал

$$J = F \left\{ \begin{aligned} &\Omega_{ср}, \Omega_{сист.х}, \Omega_{пп}, \Omega_{впп}, \Omega_{бр}, \Omega_{зс.прд}, \\ &\Omega_{зс.прм}, \Omega_{цзс}, A_{аф}, A_{ау}, A_{аа}, A_{пп} \end{aligned} \right\} \rightarrow \min_{\Omega_i, A_i} t_{дов.} P_{ош} \leq P_{ош.зад} \quad (3)$$

позволяет решить задачу нахождения минимального времени доставки сообщения при заданном качестве передачи информации, что, в свою очередь, требует динамически изменять режим функционирования ССС в зависимости от сложившейся помеховой обстановки.

Состояние сети в каждый конкретный момент определяется взаимосвязанными и одновременно воздействующими друг на друга составляющими: различными характеристиками компонентов ССС, ее алгоритмами функционирования и внешними воздействующими факторами. Известно, что решение подобной задачи в общем виде пока не найдено и получить требуемый результат возможно только на множестве допустимых (т.е. физически реализуемых) параметров компонентов и алгоритмов функционирования системы (3). Решить подобную задачу переборным методом является затруднительным вследствие ее большой размерности.

Предлагается решить поставленную задачу с помощью использования тензорного анализа.

## 2. Тензорный анализ, как метод реализации динамического изменения режима функционирования системы спутниковой связи

Тензорное исчисление (ТИ), математическая теория, изучающая величины особого рода – тензоры, их свойства и правила действий над ними. ТИ является развитием и обобщением векторного исчисления и теории матриц. ТИ широко применяется в дифференциальной геометрии, теории римановых пространств, теории относительности, механике, электродинамике и других областях науки [9 – 13].

Для описания многих физических и геометрических фактов обычно вводится та или иная система координат, что позволяет описывать различные объекты при помощи одного или нескольких чисел, а соотношения между объектами – равенствами, связывающими эти числа или системы чисел. Эти величины, называемые тензорными, описываются в каждой системе координат несколькими числами (компонентами тензора).

Состояние системы, описанное выражением 3, можно представить в виде матрицы состояния ССС в определенный момент ее функционирования, где учтены все вышеупомянутые факторы. Очевидно, что при изменении состояния ССС изменяются (или должны изменяться) и значения компонентов, входящих в матрицу.

Тензорное описание позволяет получить целостное представление о системе, ее характеристики и свойства в той или иной координатной системе рассмотрения. В соответствии свойствам тензора по его известным проекциям в одной системе координат (СК) можно получить проекции в других СК, если

известны законы перехода от одной системы координат к другой. Смена системы координат может означать смену аспекта рассмотрения исследуемой системы.

В нашем случае смена системы координат это рассмотрение ССС в различных условиях функционирования, в зависимости от сложившейся помеховой обстановки. А проекции тензора могут отображать величины показателей, которые характеризуют основные ее свойства в принятом для рассмотрения аспекте [14, 15].

Единый подход к исследованию ССС как сложной системы позволяют получить тензорные модели и методы анализа. Тензорный анализ – это обобщение векторного анализа и раздел тензорного исчисления. Благодаря заложенным в него возможностям, есть логический способ описания реальных объектов в их многоаспектности и противоречивости.

Тензорное представление имеет максимальную целостность, позволяя сконцентрировать основное внимание на самой системе независимо от возможных координатных систем ее рассмотрения.

В рамках тензорного анализа система, в общем случае, может представляться в  $n$ -мерном пространстве тензором валентности  $(m+p)$ :

$$q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_p} = \tau_{j_1} \tau_{j_2} \dots \tau_{j_m} h^{i_1} h^{i_2} \dots h^{i_p},$$

где  $\tau_j$  и  $h^i$  – соответственно ковариантный и контравариантный тензор валентности один,  $(i, j = \overline{1, n})$ .

Выражение определяет индексную запись тензора  $q$ . Принято ковариантные тензоры обозначать нижними индексами, а контравариантные – верхними. При этом закон преобразования ковариантных величин при переходе от одной системы координат к другой совпадает с законом преобразования векторов репера (базисных векторов)  $e_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), а преобразование контравариантных величин происходит по обратному закону [14, 15].

Во время перехода от одной (нештрихованной) системы координат представления тензора  $q$  к другой (штрихованной) его компоненте, он сам преобразовывается в соответствии с таким линейным законом [14, 15]:

$$h^i = c_i^j h^{j'}; \quad \tau_j = A_j^{j'} \tau_{j'};$$

$$q_{j'_1 j'_2 \dots j'_m}^{i'_1 i'_2 \dots i'_p} = q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_p} c_{i_1}^{i'_1} c_{i_2}^{i'_2} \dots c_{i_p}^{i'_p} c_{j_1}^{j'_1} c_{j_2}^{j'_2} \dots c_{j_m}^{j'_m},$$

при том, что  $e_{j'} = c_j^{j'} e_j$ .

Тем самым, зная значения компонентов тензора (параметров состояния ССС) в одной системе координат (в данный момент функционирования) возможно определить ее параметры и характеристики в следующий момент, т.е. в изменившихся условиях

обстановки. Это позволит динамически управлять режимом функционирования ССС для минимизации времени доставки сообщения при заданном качестве в сложившейся помеховой обстановке.

### Выводы

Таким образом, применяя идею тензорного анализа для системы спутниковой связи как сложно-го объекта, возможно одновременно учитывать противоречивые параметры системы и все воздействующие на нее факторы в различных (изменяющихся) условиях функционирования, сохраняя целостность ее рассмотрения. Это в свою очередь дает возможность реализовать динамическое изменение режима функционирования системы спутниковой связи, адаптируясь к сложившейся помеховой обстановке.

### Список литературы

1. Карпенко В.І. Супутниковий зв'язок: минуле, сучасне та перспективи / В.І. Карпенко, Ю.Г. Даник // *Наука і оборона*. – 2001. – № 1. – С. 38-42.
2. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008 - 2012 роки: Закон України від 30.09.2008 р. // *Відом. Верхов. Ради України*. – 2009. – № 12.
3. Про космічну діяльність: Закон України від 15.11.1996 р. // *Відом. Верхов. Ради України*. – 1997. – № 1.
4. Концепція розвитку зв'язу в Україні до 2010 г. // *Відом. Верхов. Ради України*. – 1995. – № 20.
5. Про зв'язок: Закон України від 15.05.95 // *Відом. Верхов. Ради України*. – 1995. – № 20.
6. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні до 2010 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006р. № 316р.

7. Концепція розвитку зв'язу України до 2010 року. – К.: Державний комітет зв'язу та інформатизації України, 1999. – 23 с.
8. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
9. Аквис М.А. Тензорное исчисление / М.А. Аквис, В.В. Гольдберг. – М.: Наука, 1969.
10. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления; 9-е изд. / Н.Е. Кочин. – М.: Наука, 1965.
11. Мак-Коннел А.Дж. Введение в тензорный анализ с приложениями к геометрии, механике и физике / А.Дж. Мак-Коннел. – М.: Физматлит, 1963.
12. Номидзу К. Группы Ли и дифференциальная геометрия / К. Номидзу. – М.: ИЛ, 1960.
13. Победря Б.Е. Лекции по тензорному анализу: Учеб. пособие. (3-е изд.) / Б.Е. Победря. – М.: Изд-во МГУ, 1986.
14. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.; За загальною редакцією В.В. Поповського. – Х.: ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. – 564 с.
15. Лемешко А.В. Категориально-тензорное представление телекоммуникационной системы / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева, А.В. Чечуй // *Наукові записки УНДІЗ*. – 2008. – № 2 (4). – С. 3-15.

Поступила в редколлегию 11.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства, Харьков.

### МОЖЛИВІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ РЕЖИМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ ТЕНЗОРНОГО АНАЛІЗУ

О.О. Лаврут

Показано, що знизити витрати на розробку та експлуатацію національної системи супутникового зв'язку можливо орієнтуючись на створення системи, яка дозволяла б вирішувати проблему оперативності доставки повідомлень в обстановці, пов'язаній з різноманітними завадами на основі використання динамічної зміни режиму функціонування. Застосовуючи ідею тензорного аналізу, можливо одночасно враховувати суперечливі параметри системи і фактори, які на неї впливають в умовах, що змінюються, зберігаючи цілісність її розгляду.

**Ключові слова:** супутниковий зв'язок, алгоритм функціонування, тензорний аналіз.

### MARKETABILITY DYNAMIC CHANGE OF MODE OF FUNCTIONING OF SATELLITE COMMUNICATION NETWORK THROUGH THE USE OF TENSOR ANALYSIS

A.A. Lavrut

It is demonstrated that to reduce expenses for development and exploitation of national satellite communication network it is possible oriented on creation of the system which would allow to decide the problem of efficiency of delivery of report in a different noise situation on the basis of the use of dynamic change of the mode of functioning. Applying the idea of tensor analysis it is possible simultaneously to take into account contradictory parameters systems and factors affecting her in changing terms, saving integrity of its consideration.

**Keywords:** satellite communication, algorithm of functioning, tensor analysis.