

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Существующие программные средства поддержки многокритериального анализа не ориентированы на конечного пользователя или являются узкоспециализированными решениями. Предлагается среда инструментальной поддержки, которая позволит повысить эффективность решения задач многокритериального анализа на уровне пользователей-прикладников, независимо от предметной области.

Ключевые слова: инструментальные средства, принятие решений, многокритериальный анализ.

В различных прикладных областях проводится разработка и проектирование сложных технических систем, характеризующихся многоуровневой структурой и множеством альтернативных вариантов реализации отдельных подсистем. В результате, процесс проектирования усложняется существованием большого количества конфигураций, из которых необходимо сделать выбор. Лицо, принимающее решение (ЛПР), сталкивается со сложной системой взаимозависимых компонентов (ресурсы, желаемые исходы и цели, лица и группы лиц и т. д.), которую нужно проанализировать. Причем чем глубже он вникает в проблему, тем лучше будут его прогнозы или принимаемые решения [1]. Принятие решения становится сложной задачей, успешность решения которой непосредственно определяет эффективность реализуемых прикладных проектов.

Процесс выбора конфигурации технической системы является непростой задачей, а само решение неочевидным из-за схожести параметров альтернативных вариантов и наличия множества противоречивых критериев, не поддающихся ручному анализу. Для получения сопоставляемых критериев приходится проводить расчеты по сложным формулам, учитывающим характеристики подсистем различного уровня, в результате чего формируется задача многокритериального анализа [2].

Многокритериальный анализ больших и сложных систем требует обработки большого количества данных, что является чрезмерно ресурсоемким процессом. В основном это обусловлено размерами структуры разрабатываемой системы, в которой каждая подсистема представлена собственным набором альтернативных вариантов, параметров и критериев их оценки. Ручной анализ всех существующих вариантов конфигурации становится малоэффективным решением.

Обзор существующих систем анализа и принятия решений. В настоящее время решение задачи многокритериального анализа поддерживается инструментальными средствами, которые условно могут быть разделены на три группы:

- специализированные системы, обеспечивающие поддержку процесса принятия решений при разработке конкретных технических систем;
- универсальные пакеты и инструменты, предназначенные для анализа разнообразных моделей и систем, содержащие также средства для многокритериального анализа;
- проблемно-ориентированные системы анализа и принятия решений.

Специализированные системы, обеспечивающие поддержку процесса принятия решений при разработке конкретных технических систем – это программные средства, ориентированные на поддержку многокритериального анализа в строго заданных условиях. Их главными недостатками является невозможность настройки на изменяемые условия задачи и прикладной области; также при работе со сложными техническими системами может сформироваться ситуация, в которой отдельные элементы разработанного программного обеспечения будут дублировать функции друг друга. Положительное свойство заключается в том, что такая система эффективна на ранней стадии создания инструмента и выступает прототипом для разработки более универсального средства, ориентированного на группу схожих задач и обладающего механизмами настройки под прикладную область.

Примером может служить «Система поддержки принятия решений для страхования» [3], разработанная для решения задачи оценки риска страхуемого объекта. Это информационная система, состоящая из ядра и ряда элементов, присоединяемых к нему «интеграционной шиной». Ядром является хранилище данных, к которому подключаются терминалы администратора системы и пользователей. Архитектура среды жестко ориентирована на решаемую задачу, что не позволяет эффективно использовать ее в иных областях.

Универсальные пакеты и инструменты, предназначенные для анализа разнообразных моделей и систем, содержащие также средства для многокритериального анализа представляют собой программные средства, разработанные для реализации математических расчетов и моделирования в процессе решения технических задач. Архитектура инструментов этой группы основана на многофункциональном внутреннем языке с набором базовых конструкций, предназначенных для решения типовых задач, и мощные средства их синтеза в единую структуру. Положительным качеством этих средств является возможность создания на их базе систем, настраиваемых под условия решаемой задачи и особенности прикладной области. Главным недостатком заключается в ориентированности интерфейса на пользователей-математиков и, как следствие, невозможности эффективного применения пользователями-прикладниками. В итоге это приводит к необходимости привлечения специалистов, не связанных непосредственно с производственным процессом, и трате дополнительных ресурсов.

Широкое распространение получили такие программные пакеты, как MatLab [4], MatCad [5], Mathematica [6], Statistica [7] и др. В общем виде эти пакеты представляют собой совокупность инструментальных средств поддержки вычислений, ориентируясь на определенную специфику математических расчетов. Все они характеризуются сложным внутренним языком, рассчитанным на квалифицированного специалиста. Пользователи, не обладающие достаточным знанием математики и интегрированного языка, не могут эффективно работать с ними. Это универсальные среды, но рассчитаны они на узкую группу специалистов.

В группу проблемно-ориентированных систем анализа и принятия решений включены инструментальные средства, разработанные для поддержки решения класса задач, порождаемых некоторой проблемой или совокупностью проблем. Инструменты этой группы характеризуются такими положительными чертами, как гибкая архитектура, модульность реализации, возможность подстройки под индивидуальные особенности решаемой задачи и ориентированный на конечного пользователя интерфейс. При этом они имеют один большой минус: это так называемые «тяжелые» программные продукты, которые требуют затрат значительного количества ресурсов на разработку и последующее сопровождение. Их использование только для поддержки многокритериального анализа не является целесообразным по причине чрезмерной ресурсоемкости.

Примером может служить аналитический комплекс «Прогноз» [8]. Это интегрированная платформа для создания информационно-аналитических систем. Комплекс объединяет современные технологии хранилищ данных, оперативного анализа данных (OLAP), средства имитационного и эконометрического моделирования, плюс возможности WEB-доступа и СОМ-интерфейса. «Прогноз» – это инструментальная среда со встроенным объектно-ориентированным языком программирования, которая предоставляет набор средств для разработки и синтеза конечных систем поддержки принятия решения.

Приведенный обзор решений, используемых для поддержки многокритериального анализа, показывает, что наиболее полно на пользователя-прикладника и особенности решаемой задачи ориентирована группа специализированных систем. Однако разработка подобных

средств для решения разных прикладных задач может оказаться весьма трудоемким и затратным процессом. Применение инструментов из группы универсальных пакетов требует наличия у пользователя специальных знаний, что ведет к дополнительным трудностям по освоению инструментов или привлечению специалистов. Проблемно-ориентированные системы анализа и принятия решений также не могут быть эффективно использованы для многокритериального анализа по причине их чрезмерной ресурсоемкости.

В итоге можно сделать вывод, что ни одно из существующих инструментальных средств не может быть одинаково эффективно использовано для поддержки решения задачи многокритериального анализа при разработке технических систем в различных прикладных областях. Выходом из этого положения является создание проблемно-ориентированного инструментального средства, реализующего необходимые методы анализа данных и имеющего оболочку, обеспечивающую настройку на требуемую предметную область и задачу.

Поддержка многокритериального анализа при разработке сложных технических систем. Разработка сложной технической системы строится на базе анализа различных вариантов конфигурации, количество которых определяется структурой разрабатываемой системы и числом альтернативных вариантов ее подсистем. Существуют различные методики, позволяющие принять окончательное решение, но в наиболее сложных случаях приходится использовать методы многокритериального анализа [2].

При таком подходе разрабатываемая техническая система рассматривается как объект с иерархической структурой формирующих его элементов, связанных отношением состава (рис. 1). Иерархия в данном случае есть определенный тип системы, основанный на предположении, что элементы системы могут группироваться в несвязанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы [1].

В результате формируется комплексная задача многокритериального анализа со сложной иерархической структурой подзадач, суть которой в том, что ЛПР необходимо выбрать конфигурацию технической системы из

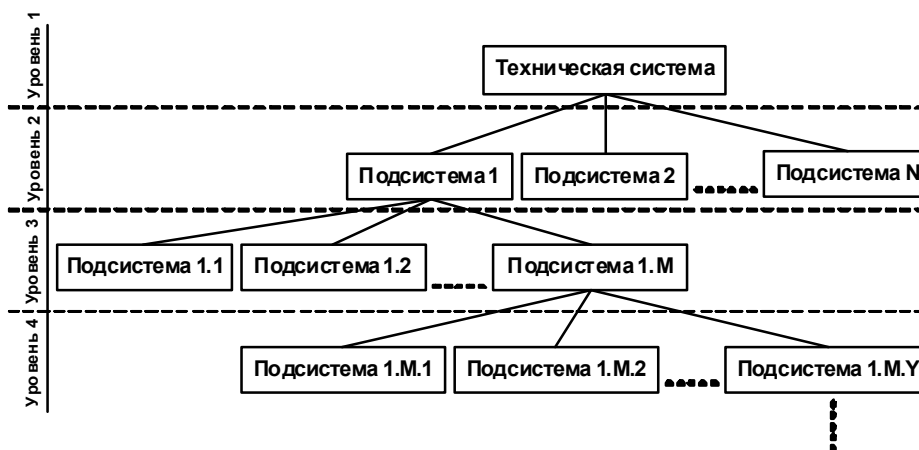


Рис. 1. Общий вид структуры технической системы

множества доступных вариантов. Результатом решения является конфигурация с однозначно определенными элементами или группа конфигураций, в которой общее количество альтернативных вариантов позволяет ЛПР принять окончательное решение без использования специальных методик и подходов.

Глобальная задача делится на множество подзадач, в каждой из которых рассматривается только один типовой анализ (рис. 2). Его суть состоит в сравнении некоторого множества альтернативных вариантов отдельной подсистемы разрабатываемой системы по группе критериев с последующим формированием их весов и синтезе рекомендаций о наилучшей альтернативе или группе альтернатив. В итоге сложная комплексная задача разбивается на группу типовых задач многокритериального анализа, решаемых независимо.

Для решения комплексной задачи многокритериального анализа предлагается среда инструментальной поддержки, которая:

- является настраиваемым инструментом, одинаково эффективно используемым в различных прикладных областях;
- обладает гибкой архитектурой, позволяющей адаптировать отдельные подсистемы под прикладную область и требования пользователя;
- имеет интерфейс, ориентированный на конечного пользователя-прикладника.

Архитектура среды инструментальной поддержки.

Концептуально среда формируется из трех основных уровней (рис. 3). Ядро представляет собой совокупность программных реализаций методов поддержки многокритериального анализа, реализованных в виде программных модулей. Главная функция – реализация технических расчетов и вычислений в процессе решения задачи многокритериального анализа. Ядро состоит из двух основных элементов (рис. 4): интерфейса подключения программных модулей и подсистемы программных модулей.

Назначением интерфейса является организация интеграции в ядро инструментов, реализующих алгоритмы и методы поддержки многокритериального анализа, и обеспечение взаимодействия уже подключенных модулей с уровнем работы пользователя. Подсистема программных модулей представляет собой общую совокупность подключенных к ядру инструментов. Ее назначением является непосредственное проведение технических расчетов в соответствии с реализованными алгоритмами. Состав инструментов, представленных в этой подсистеме, варьируется в зависимости от условий решаемой задачи многокритериального анализа, а также особенностей прикладной области.

Основная функция уровня работы пользователя – организация эффективной работы пользователя в среде инструментальной поддержки. Этот уровень состоит из четырех основных элементов (рис. 5): подсистемы формирования модели прикладной области; подсистемы инструментальной поддержки многокритериального ана-

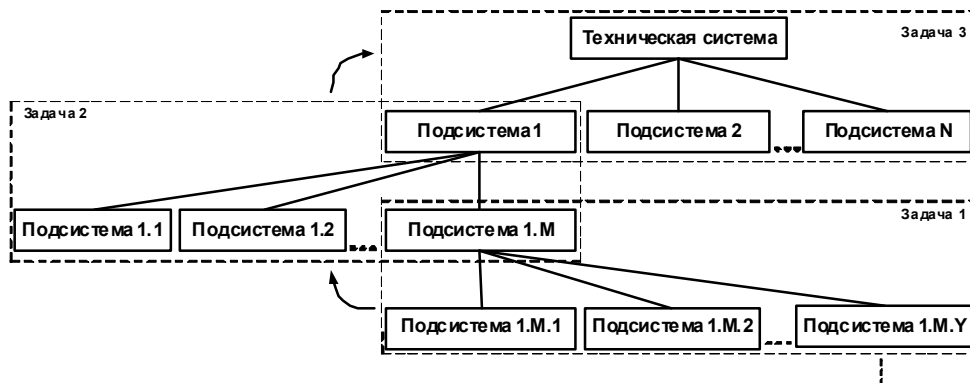


Рис. 2. Общий вид комплексной задачи многокритериального анализа

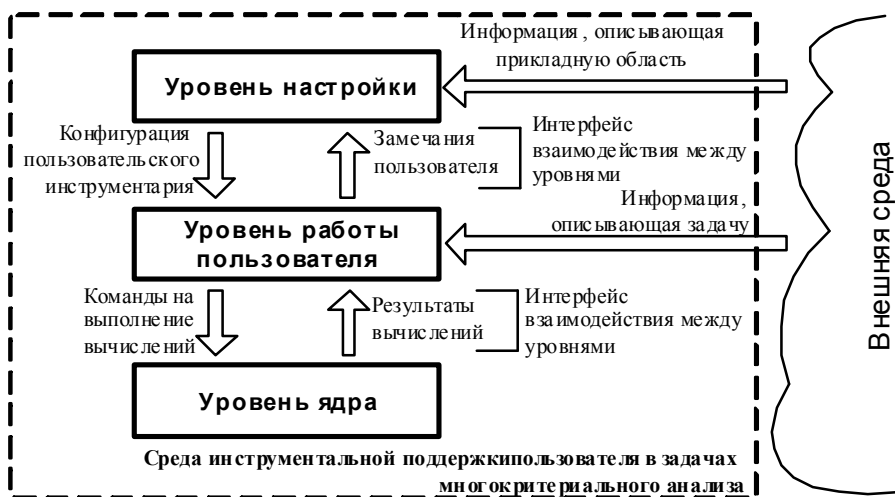


Рис. 3. Общая архитектура среды инструментальной поддержки

лиза; подсистемы формирования замечаний по настройке; подсистема внешнего взаимодействия.

Назначением подсистемы формирования модели прикладной области является организация доступа пользователя к модели прикладного объекта, сформированной администратором на этапе настройки среды, и расширение ее до модели прикладной области за счет добавления альтернатив и выбора критериев их оценки. Пользователю предоставляется модель состава прикладного объекта с заданными свойствами каждого подобъекта и группой критериев оценки альтернатив. В рамках модели он добавляет к подобъектам их альтернативные варианты и критерии оценки, которые будут использованы в технических расчетах.

Назначением подсистемы инструментария поддержки многокритериального анализа является организация доступа пользователя к инструментам, реализованным в ядре. Пользователь выбирает средства, которые будут использованы в процессе технических расчетов, и отдает

им команды, инициирующие работу. Каждая команда содержит инструмент-адресат; набор необходимых для его корректной работы параметров; подобъект прикладного объекта, для которого решается задача многокритериального анализа; множество альтернативных вариантов и критерии их оценки.

Подсистема формирования замечаний по настройке организует взаимодействие пользователя и администратора с целью обеспечения максимально эффективной настройки среды под задачу и предметную область. В процессе работы пользователь может сформировать рекомендации и замечания, которые будут переданы на уровень настройки.

Подсистема внешнего взаимодействия представляет собой интерфейс пользовательской части. Ее назначение – организация доступа пользователя к инструментам ядра. В общем виде интерфейс реализует два основных потока данных – в среду и из среды. При этом реализуется две методики организации потоков: непосред-

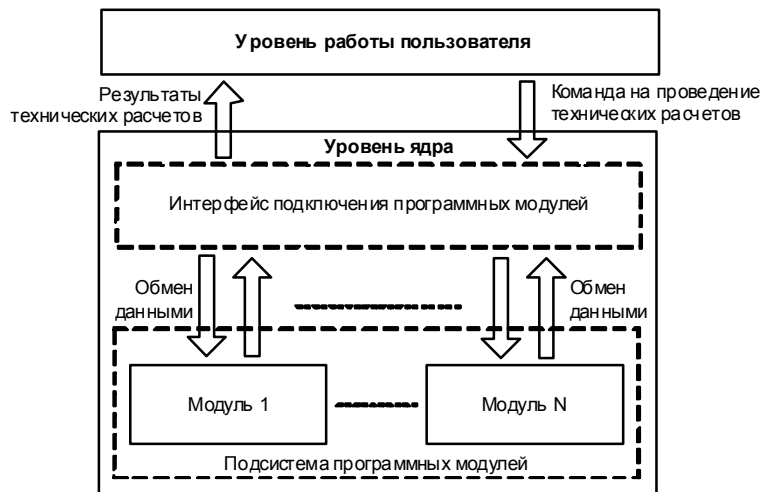


Рис. 4. Структура уровня ядра

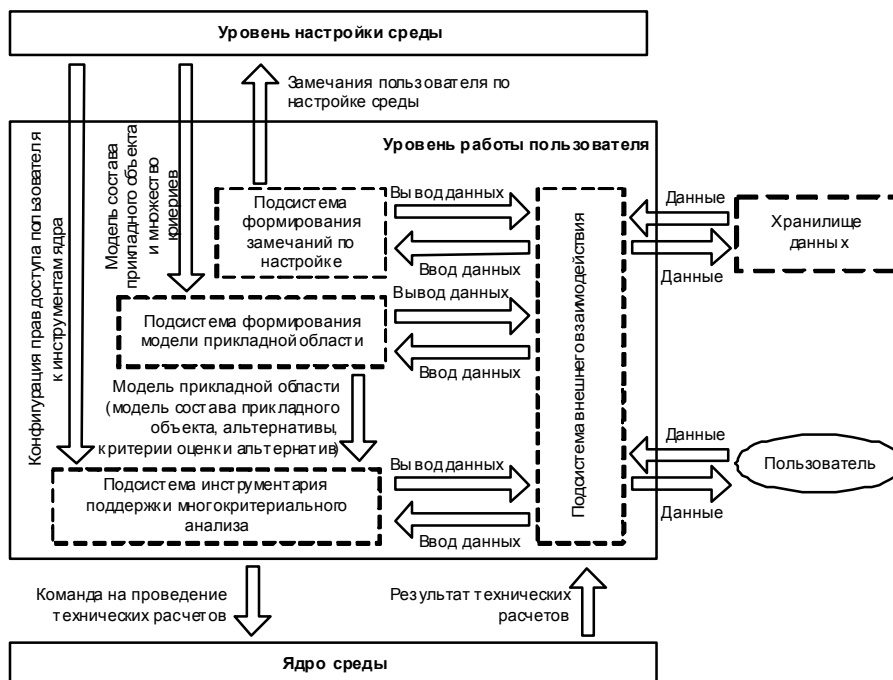


Рис. 5. Структура уровня работы пользователя

ственно и опосредованно. При непосредственном подходе строится два постоянных информационных канала (в среду и из среды), по которым передаются данные по мере появления. Это позволяет пользователю работать со средой в режиме реального времени. В опосредованном подходе создается временный канал для загрузки/выгрузки некоторого объема подготовленной информации.

Основная функция уровня настройки – настройка среды инструментальной поддержки под условия решаемой задачи многокритериального анализа и особенности прикладной области; состоит из трех основных элементов (рис. 6): подсистемы конфигурирования модели прикладного объекта; подсистемы конфигурирования технических средств; подсистемы внешнего взаимодействия.

Назначением подсистемы конфигурирования модели прикладного объекта является формирование модели для дальнейшего использования на уровне работы пользователя. Администратор строит двухуровневую модель состава прикладного объекта и формирует множество критериев оценки альтернатив. На основании построенной модели администратор задает свойства подобъектов прикладного объекта. Причем на этапе настройки задаются только их названия, тем самым определяя формат, в соответствии с которым пользователь должен вводить альтернативы.

Также в рамках этой подсистемы администратор среды формирует множество критериев оценки альтернатив. В общем виде критерий представляет собой правило, в соответствии с которым оценивается конфигурация прикладного объекта. В процессе решения задачи многокритериального анализа критерии используются для оценки альтернативных конфигураций и последующего выбора единственного варианта или сужения до незначительного множества. В данном случае критерий задается некоторой математической функцией $f = \{(x_1, x_2, \dots, x_n, y)\}$, которая позволяет получить численную оценку одного или более подобъектов в контексте определенной конфигурации.

С позиции взаимоотношений элементов прикладного объекта критерий задает определенный вид связи одного или более подобъектов с объектом, который они формируют. Выделяется четыре основных вида критериев:

- объекту привязывается одно свойство одного подобъекта;
- объекту привязывается несколько свойств одного подобъекта;
- объекту привязывается по одному свойству от нескольких подобъектов;
- объекту одновременно может быть привязано одно свойство одного подобъекта объекта и несколько свойств другого подобъекта.

Назначением подсистемы конфигурирования технических средств является регулирование доступа пользователя к инструментам поддержки многокритериального анализа, реализованным на уровне ядра среды. Администратор определяет, какие инструменты будут доступны пользователю в процессе решения задачи.

Подсистема внешнего взаимодействия предназначена для предоставления администратору доступа к инструментам настройки среды для организации ее эффективной адаптации под условия решаемой задачи и особенности прикладной области. По аналогии с уровнем работы пользователя, интерфейс реализует два основных потока данных (в среду и из среды) на двух методиках (непосредственно и опосредованно).

Таким образом, в работе предложена общая архитектура среды инструментальной поддержки многокритериального анализа. Трехуровневая организация системы обеспечивает настройку на особенности решаемой задачи и специфику прикладной области. Процесс настройки остается прозрачным для конечного пользователя и не требует от него наличия специальных знаний, выходящих за пределы предметной области. Особая конструкция ядра среды позволяет регулировать инструменты, доступные пользователю, путем добавления или удаления соответствующих программных модулей.

Применение представленной среды позволит повысить эффективность решения задач многокритериального анализа на уровне пользователей-прикладников, независимо от предметной области. В завершение стоит отметить, что в настоящее время в соответствии с разработанной архитектурой создан прототип программной системы для поддержки многокритериального анализа при проектировании космических аппаратов.

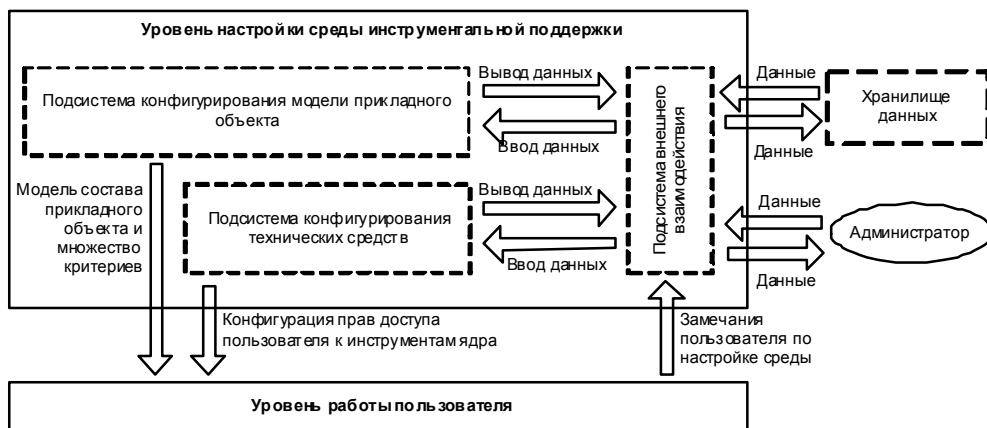


Рис. 6. Структура уровня настройки

Библиографический список

1. Саати, Т. Л. Принятие решений : перевод с англ. / Т. Л. Саати. М. : Радио и связь, 1993.
2. Горский, П. Введение в дисциплину «Поддержка принятия решений» [Электронный ресурс] / П. Горский. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.cfin.ru/management/decision_science.shtml?printversion. Загл. с экрана.
3. Шахраманьян, А. М. Система поддержки принятия решений для страхования [Электронный ресурс] / А. М. Шахраманьян, Э. Э. Мамедов. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.dataplus.ru/arcnev/number_40/14_strah.html. Загл. с экрана.
4. Веремей, Е. И. Система MATLAB в учебном процессе для специалистов по теории управления и информационным технологиям [Электронный ресурс] / Е. И. Веремей. Электрон. дан. Режим доступа: <http://2005.edu-it.ru/docs/4/4-07.Veremey.doc>. Загл. с экрана.
5. Шушкевич, Г. Ч. Введение в MathCAD 2000 : учеб. пособие / Г. Ч. Шушкевич, С. В. Шушкевич. Гродно : ГрГУ, 2001.
6. Большакова, И. В. Экономико-математические расчеты в системе MATHEMATICA : учеб. пособие для студентов экон. фак. БГУ / И. В. Большакова, В. С. Мастяница ; под общ. ред. М. М. Ковалева. Мн. : БГУ, 2005.
7. Лазарева, Т. Я. Введение в систему STATISTICA : метод. указ. / Т. Я. Лазарева, Р. Н. Абалуев. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002.
8. Аналитический комплекс «Прогноз» [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.prognoz.ru/ru/products_akprognoz.php. Загл. с экрана.

A. I. Legalov, D. N. Ledyayev, A. V. Ankudinov

INSTRUMENTAL SUPPORT OF MULTICRITERION ANALYSIS IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEM DEVELOPMENT

Nowadays program tools for multicriterion analysis are not adapted for an end-user or they are highly tailored information systems. The environment that can increase effectiveness of analysis multicriterion task solving at user level and independently of application area is proposed.

Keywords: software tools, decision accepting, multicriterion analysis.

УДК 681.332.531/519.676

Е. И. Алгазин, Е. Г. Касаткина, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОЙ НА КОГЕРЕНТНОМ ПРИЕМЕ И ПРИ НАЛИЧИИ СЛАБЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Рассматривается инвариантная система обработки информации, основанная на выделении прямоугольной огибающей при помощи синхронного детектора. Рассчитываются показатели помехоустойчивости такой системы. При этом полагается, что ближайшие отсчеты прямоугольной огибающей зашумлены аддитивной помехой, отсчеты которой слабо коррелированы между собой. Произведено сравнение количественных оценок работы такой системы с количественными показателями известной инвариантной системы при некоррелированности отсчетов шума.

Ключевые слова: помехоустойчивость, инвариант, инвариантная относительная амплитудная модуляция, вероятность попарного перехода, отношение «сигнал/шум», коэффициент корреляции.

Инвариантные системы передачи информации могут базироваться на разных способах обработки информации, основанных на принципе относительной амплитудной модуляции. Этот принцип предполагает снижать действие мультипликативной помехи путем применения алгоритма частного информационного параметра к обучающему [1].

Авторами рассмотрены ранее четыре способа обработки сигналов с помощью инвариантной относительной амплитудной модуляции и различной коррелированности отсчетов шума.

В работе [1] рассмотрена инвариантная относительная модуляция (ИОАМ) при идеальных условиях. В работе [2] рассмотрена инвариантная некогерентная система обработки информации. В работе [3] рассмотрены качественные характеристики ИОАМ при наличии помехи в генераторе. В работе [4] получены качественные характеристики ИОАМ в случае слабой коррелированности соседних отсчетов информационного и обучающего сигналов.

Постановка задачи. Имеем канал связи, ограниченный частотами $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$. Состояние канала связи определяет