

ЭФФЕКТИВНОЕ НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В ГАС РФ «ПРАВОСУДИЕ»

Бетанов В.В.¹, Ловцов Д.А.²

Ключевые слова: навигационно-баллистическое обеспечение, эффективность, спутник ретрансляции и связи, некорректная задача, обобщенно некорректная задача, ГАС РФ «Правосудие».

Аннотация

Цель работы: совершенствование навигационно-баллистического обеспечения подсистемы спутниковой связи и передачи данных ГАС РФ «Правосудие» в условиях нестандартных ситуаций.

Метод: системный анализ навигационно-баллистического обеспечения управления спутниками ретрансляции и связи с учетом объект-системы «задача — инструмент решения».

Результаты: рассмотрена концепция повышения устойчивости решения некорректных задач определения движения спутников ретрансляции и связи на различных этапах полета; исследования проведены в рамках объекта-системы «задача — инструмент решения», требующей введения в ряде случаев понятия «обобщенная некорректная задача»; в качестве инструментария выступает большая система — автоматизированная система навигационно-баллистического обеспечения с соответствующими подсистемами. На примере определения параметров движения спутников ретрансляции и связи на этапе выведения на орбиту показана возможность обеспечения требуемых точностных характеристик в условиях неполной реализации запланированной схемы контроля орбиты и в условиях штатной схемы на короткой мерной базе.

DOI: 10.24682/1994-1404-2024-3-106-116

Введение

Определение параметров движения (вектора состояния) спутников ретрансляции и связи (СРС) в подсистеме спутниковой связи и передачи данных ГАС РФ «Правосудие», осуществляется путем статистической обработки совокупности измерений текущих навигационных параметров (ИТНП), которую получают в результате проведения радиоконтроля орбиты (РКО) [1]. Как правило, штатная технология РКО предполагает получение ИТНП движения СРС с нескольких измерительных пунктов в рамках типовой циклограммы. При возникновении нештатных ситуаций может иметь место неполная реализация штатной схемы РКО [2]. В предельном случае вектор ИТНП может быть сформирован в объеме одного сеанса РКО при

прохождении СРС в зоне радиовидимости измерительного пункта наземного автоматизированного комплекса управления.

С точки зрения вычислительной математики рассматриваемая задача навигационно-баллистического обеспечения (НБО) относится к классу *некорректных*³ [3]. Примеры причин, приводящих к возникновению нештатных ситуаций и их видов, приведены в таблице⁴ [5, 6].

³ Марчук Г.И., Кузнецов Ю.А. Итерационные методы и квадратичные функционалы. Новосибирск: Наука, 1992. 175 с.

⁴ Бетанов В.В., Кудряшов М.И. Практические подходы к решению некорректных задач с приложениями к навигационно-баллистическому обеспечению управления космическими аппаратами. М.: ВА им. Петра Великого, 1997. 132 с.

¹ **Бетанов Владимир Вадимович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член Российской академии ракетных и артиллерийских наук, заместитель начальника центра АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: vlavab@mail.ru

² **Ловцов Дмитрий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заместитель по научной работе директора Института точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева Российской академии наук, заведующий кафедрой информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: dal-1206@mail.ru

Виды нештатных ситуаций и их причины

Виды нештатных ситуаций	Причины, приводящие к нештатным ситуациям
Ограниченный объем выборки измерений (ИТНП) при оперативном определении параметров движения СРС, обусловленный срывом штатной схемы реализации циклограммы проведения радиоконтроля орбиты динамической системы (ДС)	<ul style="list-style-type: none"> – выход из строя измерительных средств (ИС), запланированных для проведения / штатной схемы РКО; – неполадки на борту СРС, которые не позволили провести сеанс связи, включающий проведение РКО; – определение координат точки падения СРС по ИТНП в случае ошибок при выведении на орбиту или при сходе с орбиты; – геофизические факторы и атмосферные явления, влияющие на возможность проведения – сеансов РКО с использованием квантово-оптических средств; – террористические атаки, которые могут привести к срыву сеансов РКО.
Ограничение выборки ИТНП, обусловленное нештатными ситуациями, в рамках которых имело место реализация штатной схемы РКО, но выборка содержит сеансы ИТНП, которые не могут быть использованы для решения задачи оперативного определения параметров движения ДС	<ul style="list-style-type: none"> – искажения при передаче сеансов РКО с измерительной станции в центр сбора ИТНП; – влияния радиотехнических и геофизических помех; – отклонения технологических параметров ИС от номинала (бортовые фазовые задержки, – калибровочные дальности и др.); – радиоэлектронное противодействие.
Не соответствие расчетного пространственно-временного перемещения центра масс СРС реальному. Значение начального вектора φ_0 состояния не обеспечивает требуемые результаты с использованием штатных процедур определения параметров движения СРС по ИТНП	<ul style="list-style-type: none"> – отклонения параметров орбиты выведения от номинальных после выведения СРС с помощью ракеты-носителя на орбиту; – отклонения параметров орбиты от номинальных при проведении динамических операций, связанных с коррекцией орбиты СРС; – ошибки прогнозирования движения СРС, обусловленные неадекватностью математической модели движения (ММД).

Учет понятия «объект-система»

В качестве инструментария в этом случае выступает автоматизированная система (АС) НБО, способная деформировать решение задачи в соответствии с видами обеспечения: математическим, техническим, программным, организационным и др. Согласно *принципу* системности общей теории систем [13] объединение «задача НБО — инструмент решения (АС НБО)», как и всякий другой объект, есть объект-система.

При этом объект-система «задача НБО — инструмент решения (АС НБО)» (рис. 1) рассматривается как целенаправленная иерархическая большая интегрированная система, представляющая собой совокупность иерархически зависимых сложных подсистем, обладающих определенной степенью организованности и автономности и содержащих людей-операторов и пространственно разнесенные комплексы средств автоматизации выполнения функций управления, объединенных, исходя из действующей иерархии целей, с помощью энергетических, вещественных и информационных связей в единую многоконтурную систему «человек-машина» для повышения эффективности процессов НБО⁵.

⁵ Главный журнал о космосе «Русский космос». Проект «Сфера», декабрь 2021 г.

С совершенствованием инструмента решения задач НБО появляется возможность решать усложняющиеся задачи определения параметров движения СРС, осуществлять стандартизацию и унификацию, производить идентификацию и адаптацию. Вместе с тем усложнение инструментария, требующее «человеко-машинной» реализации методов, моделей и алгоритмов навигационно-баллистических задач в виде программных средств на комплексах средств автоматизации с соответствующими видами обеспечения, создает, как правило, и дополнительные трудности их решения. Указанное противоречие может быть частично разрешено рассмотрением связки «задача — инструмент решения» как объект-системы.

Соотношение понятий *некорректная* и *обобщенно некорректная* задачи (ОНКЗ) можно продемонстрировать диаграммой Эйлера (рис. 2). На ней в круглых скобках указывается информация о том, за счет каких факторов возникает *обобщенная некорректность* задачи НБО, а именно: ММА — методов, моделей, алгоритмов (математического обеспечения инструментария — автоматизированной системы НБО); ПС — программных средств; Я — лингвистического фактора (языковых средств); И — информационного обеспечения; Ч — эргатического (человеческого) фактора — организационно-административной составляющей; Т — технических средств; П — правового обеспечения; Мт — метрологического обеспечения.

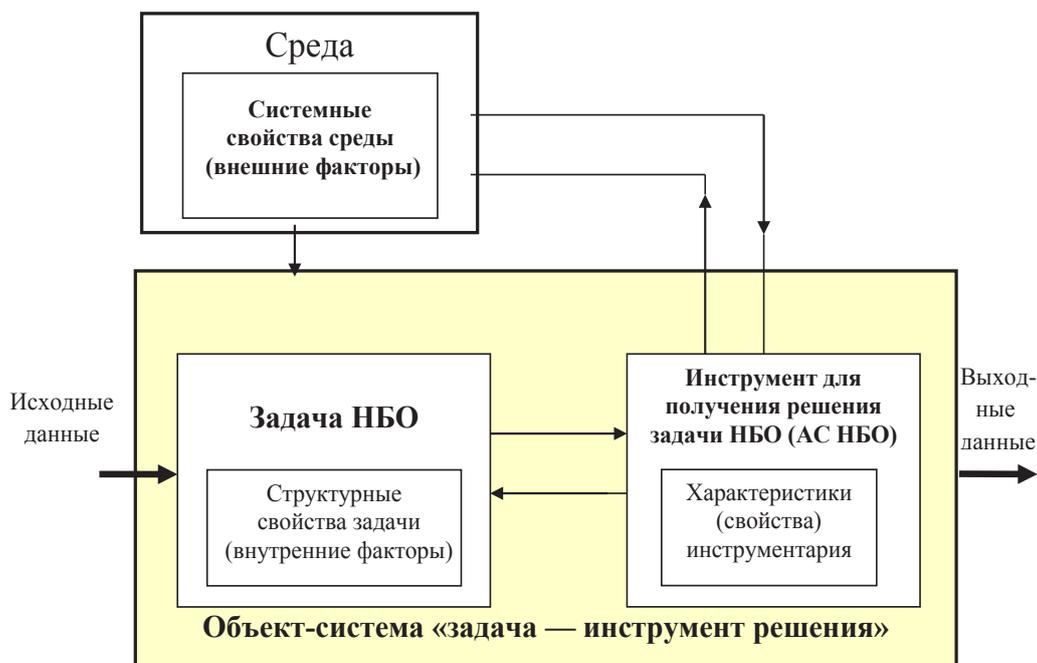


Рис. 1. Объект-система задач НБО с внешней «инфраструктурой»

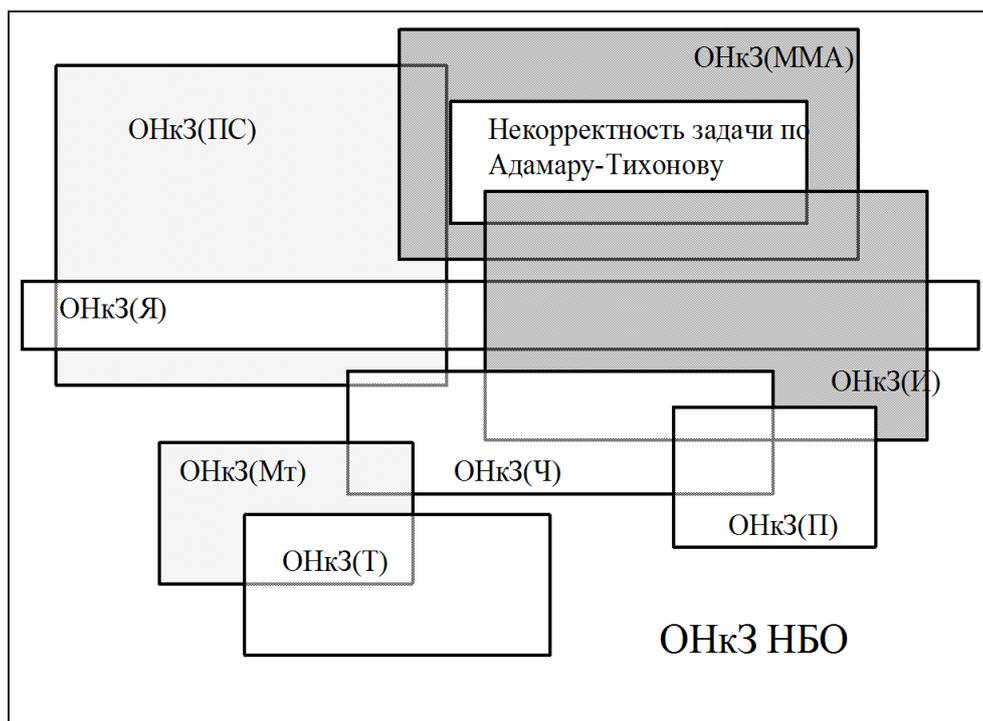


Рис. 2. Диаграмма Эйлера для представления взаимосвязи обобщенных некорректных задач

Изучению влияния различных факторов (суть видов обеспечения) автоматизированных систем переработки информации и управления (АС НБО и АСУ СРС) на конечный результат функционирования объектов посвящено значительное число работ. Простое их перечисление заняло бы достаточно большое время. Здесь лишь отметим, что влияние различных видов обеспе-

чения автоматизированной системы, как инструментария, вносящего одновременно соответствующие деформации в решение задачи, изучено в неравной мере:

- более глубоко и фундаментально — математическое и информационное обеспечение;
- достаточно детально — программное и отдельные аспекты технического;

- менее основательно — метрологическое (в настоящее время только формируются основы *системной метрологии*⁶), лингвистическое и правовое;
- еще менее изучено влияние организационного обеспечения (например, различных моделей поведения оператора-баллистика в процессе выполнения *технологического цикла НБО*, «заложенных» в базу баллистических знаний) на результаты расчетов.

Требует значительных интеллектуальных усилий осмысление функционирования объект-системы «задача НБО — инструмент решения (АС НБО)» в условиях изменяющейся среды, например, *целей* расчетов, *требований* к процессу функционирования АС НБО и др. Само поведение объект-системы во времени и в пространстве в окружении других объектов оказывается изменяющимся как детерминировано, так и стохастически.

Вместе с тем исследование влияния максимально числа факторов-видов на конечный результат расчетов в известной научной литературе, по существу, отсутствует. Главная трудность здесь, по-видимому, заключается в том, что «декомпозиционное» рассмотрение влияния отдельных факторов в условиях функционирования больших систем требует специфических математических методов, моделей, алгоритмов, а также в каждом случае особых приемов, подходов, описаний и пр. До последнего времени отсутствовал удовлетворительный математический аппарат, который позволял бы с единых позиций комплексно описать влияние каждого фактора-вида на конечный результат с достаточной мерой глубины (например, влияния отказов в функционировании аппаратуры и действий оператора-баллистика того или иного уровня организационной подсистемы АС НБО при проведении расчетов).

Применение теории ультрасистем к решению рассматриваемых задач

Общая теория ультрасистем и ультраоператоров [14] в значительной мере удовлетворяет требованиям исследования вышеназванных вопросов, так как в ней определяется и изучается новый вид отображений, являющихся обобщением классических понятий. Классические отображения осуществляют соответствия между точками множеств. При этом подразумевается, что точки известны с абсолютной точностью. Новые отображения, названные ультраотображениями, осуществляют соответствия между информацией о точках множеств. Таким образом, достигается общность и возможность комплексного рассмотрения вопроса, при сохранении всех возможностей детализированного описания исследуемого предмета. Основная конструкция теории ультрасистем позволяет

по отдельным сведениям о точке прообраза получать отдельные сведения о точке образа. На множестве ультраоператоров определяются различные операции и изучается их алгебра.

Применение ультраоператоров и ультрасистем позволяет продуктивно описывать в том числе обобщенные структурные характеристики измерительных задач, а именно: обобщенную наблюдаемость, обобщенную управляемость, обобщенную идентифицируемость и др. на образе объект-системы (а не только в ее информационно-математическом проявлении при постановке и решении задачи — см. рис. 2).

Так, под обобщенной *наблюдаемостью* измерительной задачи в объект-системе может пониматься наблюдаемость задачи определения параметров движения (ОПД) СРС не только за счет «классических» математических ее аспектов (соответствующего ранга матрицы наблюдаемости и вариантов решения в плохообусловленном случае), но также в расширенной математической трактовке (приведения нелинейной задачи путем линеаризации к линейному варианту и др.) и учета влияния других видов обеспечения инструментария (недостаточности данных, наблюдаемости в условиях шумов измерений различного рода, в том числе аномального характера, преднамеренной замены измерений другими данными и др.).

При *новом* подходе использование информационной производной позволяет ввести критерий обобщенной наблюдаемости объектов, в том числе и самой объект-системы в целом. Последнее особенно важно при выявлении и анализе причин аварийных и нештатных ситуаций при летных испытаниях и определения параметров движения СРС. Например, причиной неверных действий оператора наземного радиотехнического измерительного комплекса может оказаться не отсутствие необходимого объема освоенных им навыков действий в тех или иных ситуациях, а неверно составленная инструкция действий номера расчета в сложившейся ситуации или *неэргономичность* спроектированной панели автоматизированного рабочего места оператора и др. В подобных задачах для верного поиска причин аварийной ситуации, прежде всего, выясняется ответ на вопрос: а какие виды обеспечения рассматриваемой объект-системы обобщенно наблюдаемы? (или нет?). При констатации обобщенной ненаблюдаемости вносятся коррективы для выявления ненаблюдаемых элементов косвенно через дополнительные данные.

Связь между понятиями «обобщенная некорректная задача» и «обыкновенная» некорректная задача становится очевидной при интерпретации обобщенной некорректной задачи как некорректной задачи (в смысле А.Н. Тихонова⁷), рассматриваемой вместе с ее «предысторией» и средой, в которой она реализуется (рис. 3, рис. 4).

⁶ Макаренко Д.М., Потюпкин А.Ю. Системный анализ космических аппаратов : учебное пособие. М. : ВА им. Петра Великого, 2007. 331 с.

⁷ Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М. : Наука, 1990. 232 с.

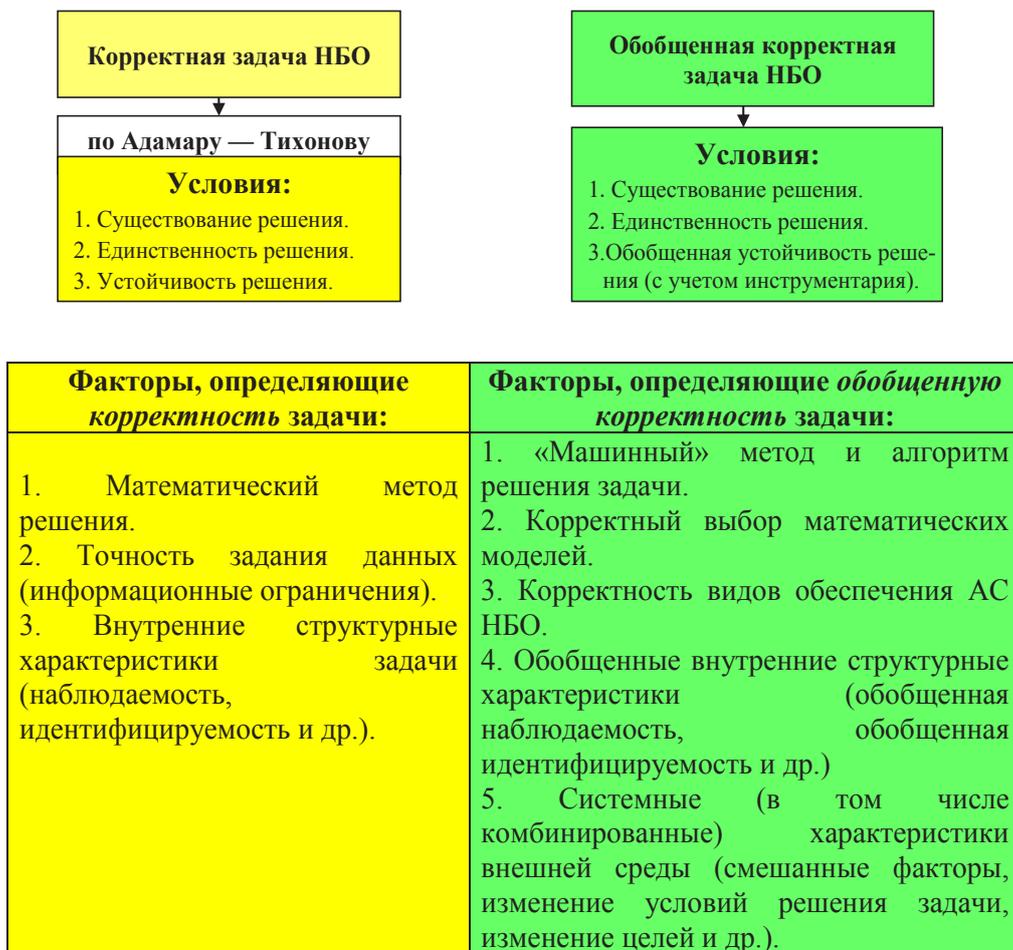


Рис. 3. Условия корректности и обобщенной корректности задач НБО и их определяющие факторы

Дальнейшее совершенствование (в том числе доработка в части, касающейся) теории ультрасистем (человеко-машинных систем — ЧМС) и ультраоператоров позволит в полной мере не только расширить путем обобщения структурные понятия и свойства измерительных задач, но и в перспективе осуществлять полную обработку данных в модели объект-системы: «измерительная задача — автоматизированная система ее решения».

Управление решением обобщенных некорректных задач

Для успешного определения пространственно-временных характеристик СРС должна быть разработана автоматизированная система управления разрешением обобщенной некорректности задач НБО. Общая схема управления решением обобщенных некорректных задач в технологическом цикле определения параметров движения (ОПД) СРС, включающая этапы выявления некорректностей, распознавания образа (причины), ранжирование некорректностей, а также преобразование (редуцирование) и решение задачи НБО, представлена на рис. 5.

Структурные элементы и характеристики измерительных задач с введением обобщенной некорректности представлены на рис. 6. Центральным элементом рассматриваемой системы управления решением обобщенных некорректных задач является блок преобразования (редукции) задачи НБО.

Для выборок измерений текущих навигационных параметров ограниченного объема характерным является информационная необеспеченность определяемого вектора состояния СРС, проявляющаяся в плохой обусловленности решаемой задачи определения движения по результатам измерений [1, 2]. Понятие плохой обусловленности в основном отражает качественную сторону задачи определения вектора состояния (ВС) в условиях плохой наблюдаемости, связанную с возможными значительными ошибками в решении системы нормальных уравнений (СНУ). Значения чисел обусловленности в подобного рода ситуациях могут быть настолько велики, что при фиксированных уровнях ошибок входных данных СНУ и разрядной сетки ЭВМ для них нельзя гарантировать в решении требуемой точности.

Подобная практика связана с необходимостью решения так называемых некорректных и обобщенно

ОБОБЩЕННАЯ КОРРЕКТНОСТЬ 2-го РОДА (1996 г.)

ОБОБЩЕННАЯ КОРРЕКТНОСТЬ 1-го РОДА (1994 г.)

КОРРЕКТНОСТЬ ПО А.Н. ТИХОНОВУ (1943 – 1962 гг.)

КОРРЕКТНОСТЬ ПО Ж. АДАМАРУ (1923 г.)

Задача решения уравнения $Az = u, z \in Z, u \in U$ называется корректно поставленной на паре метрических пространств (Z, U) , если выполнены следующие условия

1. Для любого элемента $u \in U$ существует элемент $z \in Z$, такой, что $Az = u$ (условие разрешимости).
2. Для любых элементов $z_1, z_2 \in Z$ из равенства $Az_1 = Az_2$ следует равенство $z_1 = z_2$ (условие единственности).
3. Для любых элементов $u_1, u_2 \in U$ и элементов $z_1 = z_2$ таковых, что $Az_1 = u_1$ и $Az_2 = u_2$, и любого числа $\varepsilon > 0$ можно указать число $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что из неравенства $\rho_u(u_1, u_2) \leq \delta(\varepsilon)$ следует неравенство $\rho_z(z_1, z_2) \leq \varepsilon$ (условие устойчивости).

Пусть в пространстве Z выделено некоторое множество $M \subset Z$.

Задача решения уравнения $Az = u$ называется корректной по А.Н. Тихонову, если:

1. Априори известно, что решение задачи существует и принадлежит M .
2. Решение единственно на множестве M .
3. Для любых $z_1, z_2 \in M$ и любого числа $\varepsilon > 0$ существует $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что из равенства $\rho_u(Az_1, Az_2) < \delta(\varepsilon)$ следует неравенство $\rho_z(z_1, z_2) \leq \varepsilon$, т. е. оператор A^{-1} непрерывен на образе множества M . Тогда множество M – множество корректности (оно должно быть компактом).

Задача называется обобщенно корректной 1-го рода, если

1. Априори известно, что решение задачи как объект-системы (т. е. решение задачи с учетом инструментария его решения) существует и принадлежит M° .
2. Решение единственно на множестве M° .
3. Для любых $z_1^\circ, z_2^\circ \in M^\circ$ и любого числа $\varepsilon^\circ > 0$ существует $\delta^\circ(\varepsilon^\circ) > 0$ такое, что из неравенства $\rho_u(Az_1^\circ, Az_2^\circ) < \delta^\circ(\varepsilon^\circ)$ следует неравенство $\rho_z(z_1^\circ, z_2^\circ) \leq \varepsilon^\circ$, т. е. оператор A^{-1} непрерывен на образе множества M° . Множество M° при этом называют множеством обобщенной корректности.

При этом величина $\rho_u(Az_1^\circ, Az_2^\circ)$ рассматривается как результат влияния совокупности погрешностей $\Delta_s: \Delta_s = \sum \Delta_i; i = 1, \dots, N$, где N определяется количеством факторов, деформирующих решение (для автоматизированных систем в соответствии с видами обеспечения принимается $N=8$).

ОБОБЩЕННАЯ КОРРЕКТНОСТЬ 2-го РОДА (1996 г.)

Задача называется обобщенно корректной 2-го рода, если:

1. Выполняются требования обобщенной корректности 1-го рода.
2. Решение и процесс его получения должен удовлетворять допустимым ограничениям вида:

$$(Y_i) \leq (Y_{i \text{ доп}}); t_{\text{peu}} \leq t_{\text{доп}}$$

Здесь Y_i - компоненты вектора, характеризующего качество полученного решения, а параметр $t_{\text{доп}}$ задает временные ограничения.

Рис. 4. Развитие определений корректности (некорректности) задачи



Рис. 5. Система управления решением обобщенных некорректных задач в технологическом цикле НБО

некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения.

Анализ типовых подходов к решению плохообусловленных задач определения параметров движения СРС показывает, что проблемные вопросы определения его вектора состояния в условиях плохонаблюдаемых выборок ИТНП требуют дальнейших исследований и разработок как методического, так и программно-алгоритмического характера. Метод решения задачи определения вектора состояния СРС должен обладать свойством *несингулярности* [22] и, в то же время, свойством достаточно высокой *достоверности* решений, обеспечивающих приемлемую невязку.

Анализ методов решения задач оптимизации и решения систем линейных алгебраических уравнений показывает⁸, что построение ортогональных (псевдоортогональных и др.) систем векторов, особенно на основе использования степенных последовательностей, является базой для реализации различных численных методов решения систем *линейных алгебраических уравнений*, в том числе и класса методов, получивших название методов сопряженных направлений.

Метод сопряженных градиентов представляет собой итерационную вычислительную процедуру и базируется на построении псевдоортогональных систем векторов на основе использования степенных последовательностей. Вектор решения, получаемый с применением данного метода, минимизирует соответствующий функционал ошибки [1, 8].

Разработанная методика и алгоритм определения параметров движения СРС на основе предобусловленного метода сопряженных градиентов с использованием параметрического подхода позволяет повысить точность определения параметров движения СРС в условиях ограничений на процесс реализации ИТНП. Исследование свойств оценок, получаемых с использованием указанной методики, показывает, что их оптимальность достигается:

- применением процедуры предобусловливания;
- реализацией процедуры идентификации принадлежности решаемой задачи к классу некорректных и априорной оценкой точности получаемых решений в зависимости от значений погрешностей ИТНП;
- определением на множестве возможных решений класса корректности и выбора оптимального решения из данного класса;
- рациональным построением вычислительного процесса с применением приема Айзенштата⁹ [8].

Результаты натуральных экспериментов

Результаты обработки проведенных натуральных экспериментов показали, что в состав вектора характеристик параметрического семейства идентификации некорректных задач целесообразно включать:

⁸ Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. М. : Мир, 1991. 367 с.

⁹ Бетанов В.В., Кудряшов М.И. Практические подходы к решению некорректных задач с приложениями к навигационно-баллистическому обеспечению управления космическими аппаратами. М. : ВА им. Петра Великого, 1997. 132 с.

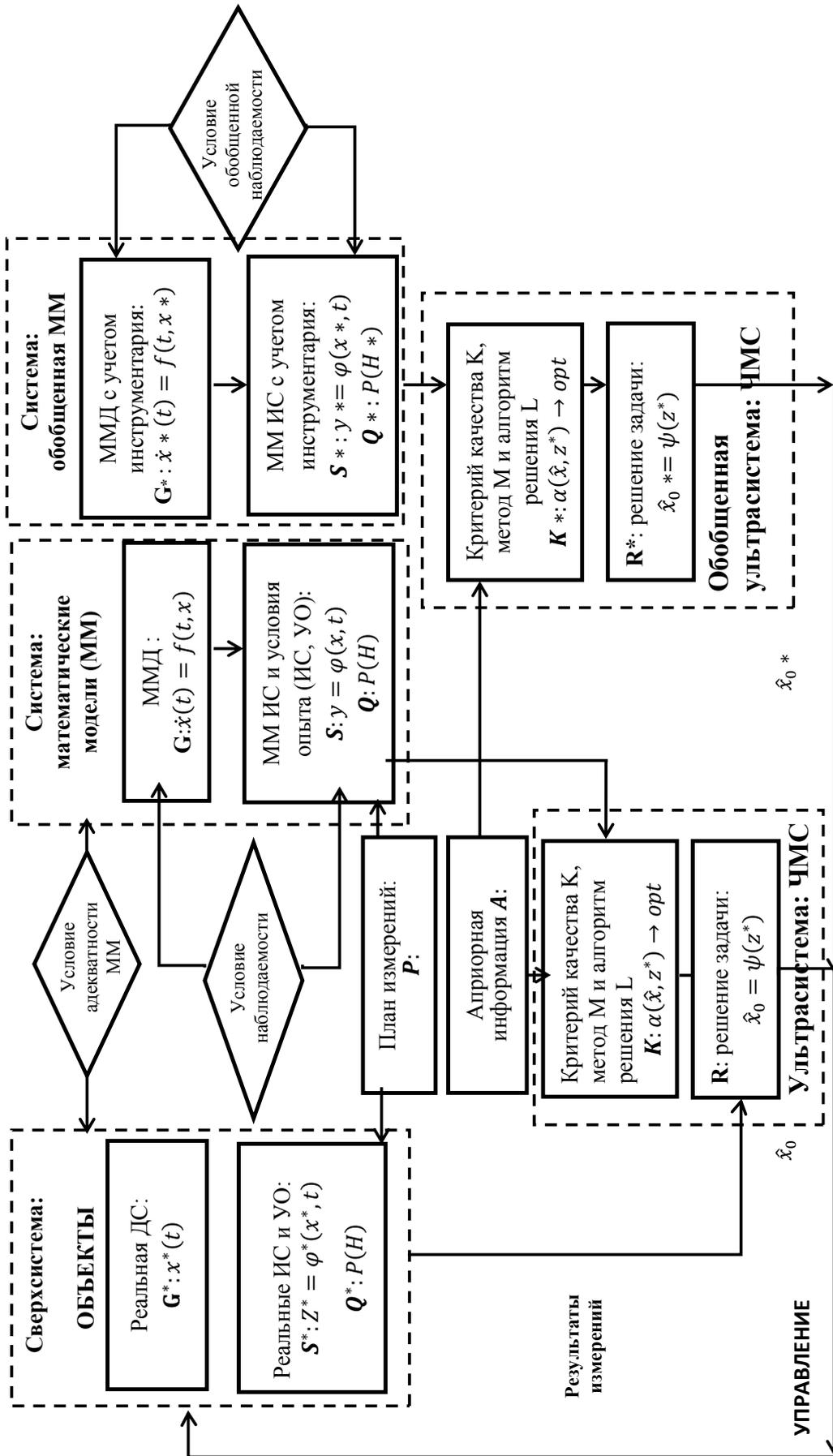


Рис. 6. Структурная схема измерительных задач с определением обобщенных структурных свойств

- числа обусловленности формируемой матрицы СНУ;
- статистические характеристики сеансов ИТНП (средние квадратические отклонения (СКО) относительно среднеопытной орбиты, СКО относительно аппроксимирующего полинома, систематическую составляющую отклонений ИТНП каждого сеанса);
- поправки в уточненные параметры орбиты;
- результаты апостериорной оценки уточненных компонентов вектора состояния в виде диагональных элементов *ковариационной матрицы*.

В основу *концепции* построения процедуры вычисления вектора решения системы нормальных или системы условных уравнений (СНУ или СУУ) с повышенной устойчивостью целесообразно положить следующее:

- отсутствие каких-либо ограничений на исходную систему (она может быть как хорошо, так и плохо обусловленной);
- ранг матрицы системы может быть произвольным;
- оценка точности может зависеть от свойств системы, обнаруживаемых по ходу процесса определения вектора состояния, и от некоторой информации, привлекаемой дополнительно.

Результаты числового исследования показывают, что в целях получения более точного и достоверного решения, следует принимать меры к тому, чтобы матрица СНУ была как можно более «хорошо» обусловлена. Однако в условиях ограничений на процесс проведения ИТНП повысить обусловленность СНУ за счет изменения программы определения орбиты не всегда

представляется возможным. Для уменьшения негативного влияния плохой обусловленности в условиях выборок ИТНП ограниченного объема целесообразно использование метода сопряженных градиентов с применением предобусловливания [1, 6] матрицы исходной СНУ посредством преобразования конгруэнтности.

Заключение

Результаты определений параметров движения СРС на этапе выведения на орбиту показывают возможность обеспечения требуемых точностных характеристик в условиях неполной реализации запланированной схемы контроля орбиты и в условиях штатной схемы контроля орбиты на короткой мерной базе.

Полученные экспериментальные результаты, показывают, что предложенный подход позволяет обеспечить определение движения СРС по выборке ИТНП в объеме 20—30% от штатной с точностью, удовлетворяющей требованиям управления ряда типов СРС и некоторых других (например, метеорологических), а его применение в практике оперативного НБО позволяет в целом обеспечить надежность управления СРС в нештатных ситуациях.

Применение рассмотренного подхода определения движения СРС с учетом различных вариантов использованного инструментария позволяет в значительной степени улучшить качество проектирования и применения программно-математических комплексов НБО и создания продуктов с новыми потребительскими свойствами и абсолютным качеством в подсистеме связи ГАС РФ «Правосудие».

*Рецензент: Омельченко Виктор Валентинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, советник секретариата научно-технического совета ВПК «НПО Машиностроения», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: omvv@yandex.ru*

Литература

1. Бетанов В.В., Байрамов К.Р., Ступак Г.Г., Урличич Ю.М. Управление космическими объектами. Методы, модели и алгоритмы решения некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения : монография. М. : Радиотехника, 2012. 360 с.
2. Лысенко Л.Н., Бетанов В.В., Звягин Ф.В. Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов : монография. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 518 с.
3. Тихонов А.Н., Гончарский А.В. и др. Численные методы решения некорректных задач. М. : Наука, 1990. 232 с.
4. Марчук Г.И., Кузнецов Ю.А. Итерационные методы и квадратичные функционалы. Новосибирск : Наука, 1992. 175 с.
5. Тюлин А.Е., Бетанов В.В. Летные испытания космических объектов. Определение и анализ движения по экспериментальным данным / Под ред. А.Е. Тюлина. М. : Радиотехника, 2016. 332 с.
6. Бетанов В.В., Кудряшов М.И. Практические подходы к решению некорректных задач с приложениями к навигационно-баллистическому обеспечению управления КА. М. : РВСН, 1997. 132 с.
7. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. М. : Мир, 1991. 367 с.
8. Тюлин А.Е., Круглов А.В., Бетанов В.В. Уточнение согласующих коэффициентов математической модели движения КА с использованием понятия «обобщенная наблюдаемость» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. № 4. С. 4—16.

9. Тюлин А.Е., Бетанов В.В., Кобзарь А.А. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 1. Методы, модели и алгоритмы оценивания параметров движения : монография. М. : Радиотехника, 2018. 479 с.
10. Тюлин А.Е., Бетанов В.В., Юрасов В.С., Стрельников С.В. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 2. Системный анализ НБО : монография. М. : Радиотехника, 2018, 487 с.
11. Тюлин А.Е., Бетанов В.В. Летные испытания космических объектов. Определение и анализ движения по экспериментальным данным. М. : Радиотехника, 2016. 332 с.
12. Тюлин А.Е., Бетанов В.А., Яшин В.Г. Орбитальные сегменты космических систем пространственно-временного обеспечения. Часть I. Орбитальное движение, маневры и методы определения параметров орбит КА : монография / Под ред. А.Е. Тюлина. М. : Инновационное машиностроение, 2020. 334 с.
13. Макаренко Д.М., Потюпкин А.Ю. Системный анализ космических аппаратов : учебное пособие. М. : ВА им. Петра Великого, 2007. 331 с.
14. Потюпкин А.Ю., Чечкин А.В. Интеллектуализация сложных технических систем : монография. М. : ВА им. Петра Великого, 2013. 208 с.
15. Чечкин А.В. Математическая информатика. М. : Наука, 1991. 416 с.
16. Соболева Т.С., Чечкин А.В. Дискретная математика : учебник / Под ред. А.В. Чечкина. М. : ИЦ «Академия», 2006. 256 с.
17. Бетанов В.В. Интеллектуализация навигационно-баллистического обеспечения управления космическими аппаратами // Правовая информатика. 2023. № 2. С. 34—43. DOI: 10.21681/1994-1404-2023-2-34-43 .
18. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем : монография. М. : РГУП, 2021. 314 с. ISBN 978-5-93916-887-8.
19. Ловцов Д.А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. М. : РГУП, 2018. 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7.
20. Ловцов Д.А., Андреев Г.И. Прецизионное прогнозирование движения техногенных объектов в околоземном космическом пространстве // Информация и космос. 2015. № 2. С. 103—110.
21. Ловцов Д.А., Карпов Д.С. Динамическое планирование навигационных определений объектов ракетно-космической техники в АСУ лётными испытаниями // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2010. № 1. С. 53—60.
22. Сухов А.В., Коношев В.В. Идентификация сингулярных последовательностей признаков аномальных событий в информационном пространстве // Правовая информатика. 2023. № 2. С. 26—33. DOI: 10.21681/1994-1404-2023-2-26-33 .
23. Lovtsov D.A., Panyukov I.I. A New Informational Technology for Computer-Aided Planning of the Determination of the Parameters of Complex Dynamic Objects. Automation and Remote Control. 1995. Vol. 56. No. 12. Part 1. Pp. 1687—1697.

SECTION:

INFORMATION AND ELECTRONIC TECHNOLOGIES IN THE LEGAL SPHERE

EFFICIENT NAVIGATION AND BALLISTIC SUPPORT FOR SATELLITE COMMUNICATION IN THE STATE AUTOMATED SYSTEM OF THE RUSSIAN FEDERATION “PRAVOSUDIJE” [“JUSTICE”]

Vladimir Betanov, Dr.Sc. (Technology), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, member of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Deputy Head of the AO “Rossiiskie kosmicheskie sistemy” (Russian Space Systems JSC) Centre, Moscow, Russian Federation.

E-mail: vlavab@mail.ru

Dmitrii Lovtsov, Dr.Sc. (Technology), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Deputy Director for Research of the Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Moscow, Russian Federation.

E-mail: dal-1206@mail.ru

Keywords: *navigation and ballistic support, efficiency, relay and communication satellite, ill-posed problem, generally ill-posed problem, State Automated System of the Russian Federation “Justice”.*

Abstract

Purpose of the study: improving navigation and ballistic support for the satellite communication and data transfer subsystem of the State Automated System of the Russian Federation "Justice" in non-standard situations.

Method used in the study: systems analysis of navigation and ballistic support for relay and communication satellite control considering the system "task – solution tool".

Study findings: the concept for increasing the stability of solving ill-posed problems of determining the motion of relay and communication satellites at various stages of flight is considered. The examination is carried out within the framework of the system "task – solution tool" requiring introducing, in some cases, the generally ill-posed problem concept. A large system (an automated navigation and ballistic support system with its subsystems) serves as a toolkit. Using the example of determining the motion parameters of relay and communication satellites at the stage of their placing into orbit, the possibility is shown for ensuring the required accuracy characteristics in the conditions of incomplete implementation of the planned orbit control scheme and in the conditions of the standard scheme on a short measurement base.

References

1. Betanov V.V., Bairamov K.R., Stupak G.G., Urlichich Iu.M. Upravlenie kosmicheskimi ob'ektami. Metody, modeli i algoritmy resheniia nekorrektnykh zadach navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2012. 360 pp.
2. Lysenko L.N., Betanov V.V., Zviagin F.V. Teoreticheskie osnovy ballistiko-navigatsionnogo obespecheniia kosmicheskikh poletov : monografiia. M. : MG TU im. N.E. Bauman, 2014. 518 pp.
3. Tikhonov A.N., Goncharskii A.V. i dr. Chislennye metody resheniia nekorrektnykh zadach. M. : Nauka, 1990. 232 pp.
4. Marchuk G.I., Kuznetsov Iu.A. Iteratsionnye metody i kvadratichnye funktsionaly. Novosibirsk : Nauka, 1992. 175 pp.
5. Tiulin A.E., Betanov V.V. Letnye ispytaniia kosmicheskikh ob'ektov. Opredelenie i analiz dvizheniia po eksperimental'nym dannym. Pod red. A.E. Tiulina. M. : Radiotekhnika, 2016. 332 pp.
6. Betanov V.V., Kudriashov M.I. Prakticheskie podkhody k resheniiu nekorrektnykh zadach s prilozheniiami k navigatsionno-ballisticheskomu obespecheniiu upravleniia KA. M. : RVS N, 1997. 132 pp.
7. Ortega Dzh. Vvedenie v paralel'nye i vektornye metody resheniia lineinykh sistem. M. : Mir, 1991. 367 pp.
8. Tiulin A.E., Kruglov A.V., Betanov V.V. Utochnenie soglasuiushchikh koeffitsientov matematicheskoi modeli dvizheniia KA s ispol'zovaniem poniatii "obobshchennaia nabliudaemost'". Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy. 2020. No. 4. Pp. 4–16.
9. Tiulin A.E., Betanov V.V., Kobzar' A.A. Navigatsionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 1. Metody, modeli i algoritmy otsenivaniia parametrov dvizheniia : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2018. 479 pp.
10. Tiulin A.E., Betanov V.V., Iurasov V.S., Strel'nikov S.V. Navigatsionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 2. Sistemnyi analiz NBO : monografiia. M. : Radiotekhnika, 2018, 487 pp.
11. Tiulin A.E., Betanov V.V. Letnye ispytaniia kosmicheskikh ob'ektov. Opredelenie i analiz dvizheniia po eksperimental'nym dannym. M. : Radiotekhnika, 2016. 332 pp.
12. Tiulin A.E., Betanov V. A., Iashin V.G. Orbital'nye segmenty kosmicheskikh sistem prostranstvenno-vremennogo obespecheniia. Chast' I. Orbital'noe dvizhenie, manevery i metody opredeleniia parametrov orbit KA : monografiia. Pod red. A.E. Tiulina. M. : Innovatsionnoe mashinostroenie, 2020. 334 pp.
13. Makarenko D.M., Potiupkin A.Iu. Sistemnyi analiz kosmicheskikh apparatov : uchebnoe posobie. M. : VA im. Petra Velikogo, 2007. 331 pp.
14. Potiupkin A.Iu., Chechkin A.V. Intellektualizatsiia slozhnykh tekhnicheskikh sistem : monografiia. M. : VA im. Petra Velikogo, 2013. 208 pp.
15. Chechkin A.V. Matematicheskaiia informatika. M. : Nauka, 1991. 416 pp.
16. Soboleva T.S., Chechkin A.V. Diskretnaia matematika : uchebnyk. Pod red. A.V. Chechkina. M. : ITs "Akademiia", 2006. 256 pp.
17. Betanov V.V. Intellektualizatsiia navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia upravleniia kosmicheskimi apparatami. Pravovaia informatika. 2023. No. 2. Pp. 34–43. DOI: 10.21681/1994-1404-2023-2-34-43 .
18. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem : monografiia. M. : RGUP, 2021. 314 pp. ISBN 978-5-93916-887-8.
19. Lovtsov D.A. Sistemnyi analiz. Chast' 1. Teoreticheskie osnovy. M. : RGUP, 2018. 224 pp. ISBN 978-5-93916-701-7.
20. Lovtsov D.A., Andreev G.I. Pretsizionnoe prognozirovanie dvizheniia tekhnogennykh ob'ektov v okolozemnom kosmicheskom prostranstve. Informatsiia i kosmos. 2015. No. 2. Pp. 103–110.
21. Lovtsov D.A., Karpov D.S. Dinamicheskoe planirovanie navigatsionnykh opredelenii ob'ektov raketno-kosmicheskoi tekhniki v ASU letnymi ispytaniiami. Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina. 2010. No. 1. Pp. 53–60.
22. Sukhov A.V., Koniushev V.V. Identifikatsiia singuliarnykh posledovatel'nostei priznakov anomal'nykh sobytii v informatsionnom prostranstve. Pravovaia informatika. 2023. No. 2. Pp. 26–33. DOI: 10.21681/1994-1404-2023-2-26-33 .
23. Lovtsov D. A., Panyukov I.I. A New Informational Technology for Computer-Aided Planning of the Determination of the Parameters of Complex Dynamic Objects. Automation and Remote Control. 1995. Vol. 56. No. 12. Part 1. Pp. 1687–1697.