

УДК 621.3; 629;681; 316

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-7-92-99

Концепция обобщения структурных свойств измерительных задач при навигационно-баллистическом обеспечении космического аппарата

В.В. Бетанов¹, В.В. Корянов²¹ АО «Российские космические системы», 111250, Москва, Российская Федерация, ул. Авиамоторная, д. 53² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

The Concept of Generalization of Structural Properties of Measuring Tasks when Providing Navigation and Ballistic Support for Spacecraft

V.V. Betanov¹, V.V. Koryanov²¹ AO Russian Space Systems, 111250, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bldg. 53² BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: vlavab@mail.ru, vkoryanov@mail.ru

i Предложена концепция расширения (обобщения) структурных свойств измерительных задач на основе рассмотрения объект-системы задача–инструмент решения, помещенной в соответствующую среду (инфраструктуру). В качестве инструментария решения задачи выступает автоматизированная система управления сложным динамическим объектом (например, космическим аппаратом) с подсистемами математического, программного, технического, информационного, организационного, метрологического, лингвистического и правового обеспечения. Сложный инструментарий, с одной стороны, позволяет решать современные измерительные задачи, а с другой — дополнительно деформирует получаемые на их основе решения. Приведено краткое описание разработанной концепции обобщения структурных свойств на примере понятия обобщенной наблюдаемости. Разработан аппарат математической информатики (теории ультрасистем и ультраоператоров) для ее исследования.

Ключевые слова: измерительная задача, сложный динамический объект, объект-система, обобщенная наблюдаемость, космический аппарат, навигационно-баллистическое обеспечение

i The concept of expansion (generalization) of structural properties of measuring tasks based on the object-system analysis of the ‘task-solution tool’ concept, placed in the appropriate environment (infrastructure) is proposed. An automated system for managing a complex dynamic object, for example, a spacecraft with corresponding subsystems of mathematical, software, technical, information, organizational, metrological, linguistic, legal support is chosen as a toolkit for solving the problem. This complex toolkit, on the one hand, allows solving modern measuring tasks, but on the other hand, further deforms the solutions obtained. The developed concept of generalization of structural properties is briefly described using the concept of generalized observability as an example. The apparatus of mathematical informatics (the theory of ultra-systems and ultra-operators) is proposed for its investigation.

Keywords: measuring task, complex dynamic object, object-system, generalized observability, spacecraft, navigation and ballistic support

Структура любой системы определяется как совокупность главных системообразующих связей и отношений или типических свойств. Это означает, что внутренние связи и отношения (такие как отношения адекватности математической модели (ММ), наблюдаемости искомым параметров, качества оценок, связи между ММ динамической G и измерительной S систем) одновременно можно рассматривать и как типические структурные свойства измерительных задач.

Одним из необходимых условий правильности решения измерительных задач является адекватность используемых для этого моделей процессам функционирования реальных физических объектов. На этапе постановки задачи проверке на адекватность должны подвергаться следующие пары

$$G^* - G; \quad S^* - S; \quad Q^* - Q,$$

где G^* и S^* — реальные динамическая и измерительная системы; Q^* и Q — реальные условия опыта и их ММ.

Процесс функционирования динамической системы должен быть близок к реальному движению космического аппарата, уравнения измерений должны достаточно точно описывать способ преобразования траекторной информации в измеряемые параметры при абсолютной точности их получения, а свойства ошибок измерений должны соответствовать реальным условиям проведения измерительного эксперимента. Однако на практике одновременно проверить соответственно всем перечисленным условиям невозможно, так как в качестве исходных данных со стороны сверхсистемы участвует реальная выборка результатов измерений Z^* , представленная единственной реализацией (выборочной совокупностью), а со стороны системы процесса измерений $y(t)$ — модельные выборки z (число которых теоретически не ограничено), где t — время измерения.

Если каждая модельная выборка, получаемая с помощью ЭВМ, может быть разложена на составляющие, обусловленные детерминированным и стохастическим процессами функционирования измерительной системы, то реальная выборка формируется под действием многих возмущающих факторов случайного и

неслучайного характера и принципиально неразложима на составляющие (так как нельзя однозначно определить неизвестные слагаемые какого-либо числа, даже если известна их сумма и количество слагаемых).

Поэтому по реальной выборке Z^* проверяют адекватность ММ или динамической системы $G^* - G$, или измерительной системы $S^* - S$, или ошибок измерений $Q^* - Q$, или, чаще всего, совокупности этих ММ. Если осуществляют первую проверку, то делают предположение о том, что уравнения измерений S и условия опыта Q достаточно точно описывают реальный процесс измерений. Кроме того, проверку адекватности $G^* - G$ принято проводить при отсутствии шума модели, т. е. для детерминированных динамических систем.

Остановимся на классическом понятии наблюдаемости [1–3]. С математической точки зрения наблюдаемость пары $G - S$ означает существование взаимно однозначного соответствия между элементами множества начальных условий X_0 и множества значений измеряемых сигналов (параметров) Y , т. е. отображение $E: X_0 \rightarrow Y$.

В настоящее время введено несколько понятий наблюдаемости и ненаблюдаемости [1–6]. Прикладная значимость этих понятий применительно к задачам экспериментальной баллистики состоит, в том числе, в следующем:

- если установлено, что пара $G - S$ локально наблюдаема в точке $x_0 \in X_0$, то на практике это будет соответствовать принципиальной возможности однозначного восстановления возмущенной траектории движения космического аппарата по результатам замеров для выбранной совокупности измеряемых параметров при условии малого отклонения возмущенной траектории от расчетной номинальной траектории;

- если установлено, что пара $G - S$ глобально не наблюдаема в области X_0 , то это свидетельствует о принципиальной невозможности достоверного экспериментального определения фактической траектории полета ни при какой высокой точности измерительных средств. В этой ситуации необходимо сменить или расширить состав измеряемых параметров либо привлечь дополнительную информацию.

Подобные рассуждения могут быть продолжены для других структурных свойств измерительных задач: идентифицируемости, управляемости, декомпозируемости и т. д. Однако теоретический анализ свойств подобных систем не всегда оказывается работоспособен на практике. В этой связи рассмотрение объект-системы задача-инструмент решения совместно с учетом окружающей среды поможет «исправить» положение.

Цель работы — совершенствование научно-теоретической базы решения измерительных задач в указанной объект-системе путем обобщения их структурных свойств при управлении сложными динамическими объектами на основе системного подхода.

Согласно закону системности система задача навигационно-баллистического обеспечения (НБО) — инструмент ее решения (автоматизированная система (АС) НБО) (далее — ЗИ) есть объект-система. Под системой понимают объект любой природы (либо совокупность взаимодействующих объектов любой, в том числе различной природы), имеющий выраженное «системное» свойство, т. е. свойство, которого не имеет ни одна из частей системы. В этой объект-системе легко выделить *первичные элементы* — задача НБО (с ее внутренними структурными свойствами), а также *виды обеспечения* инструмента ее решения (АС НБО): математическое, программное, техническое, информационное, организационное, метрологическое, лингвистическое и правовое. Сюда, по-видимому, могут быть отнесены и некоторые другие характеристики, например, безопасность информации, эргономичность и пр. Системное свойство совокупности первичных элементов, т. е. свойство, которым не обладает ни один из элементов, взятый сам по себе, состоит в реализации задачи НБО на средствах АС, обеспечивающей ее автоматизированное решение.

Выделим **основные признаки задачи НБО и инструмента ее решения** (АС НБО) как объект-системы. ЗИ — это абстрактная концептуальная система с детерминированной структурой. Вместе с тем для пользователя результатов расчетов объект выступает как стохастическая система (из-за дефектов структуры, их числа, времени воздействия и т. д.). Такое несовпадение свойств ЗИ как «вещи в себе» и «вещи для нас» (сущности и явления) определяет сложность проблемы НБО потребителей.

Объект-система ЗИ является иерархически организованной, открытой системой, осуществляющей обмен данными с внешней средой. ЗИ — развивающаяся система. Источник развития заключен в несоответствии отдельных видов обеспечения инструмента решения (АС) и условий применения возрастающим требованиям, предъявляемым к характеристикам решения задач НБО. Эта причина порождает скачкообразный процесс перехода от одного этапа развития рассматриваемой объект-системы к другому.

Развитие в направлении отрицания очередным этапом предшествующего включает в себя и элемент преемственности, вытекающий из единства задач НБО. Функционирование ЗИ через обратные связи приводит к необходимости уточнения постановки задач, что формирует новый цикл развития объект-системы. Это позволяет говорить о продолжающейся разработке, «развивающихся» версиях ЗИ. Таким образом, имеет место единство внутренних и внешних причин развития ЗИ и его основных компонентов — источника, характера и направления.

Как всякая система, объект-система ЗИ работает в конкретной среде, которой прежде всего является инструментальная база. Однако сам инструментарий помещается в некоторую внешнюю среду, задающую цель функционирования (а следовательно, показатели качества), внешние воздействия и требования от систем различного уровня иерархии (в том числе «параллельных» систем), определяющих частные показатели качества исходя из различных условий функционирования.

Структурная схема измерительных задач с элементами обобщенных структурных свойств показана на рисунке, где ДС — динамическая система; ИС — измерительная система; УО — условия опыта; ММД — математическая модель движения; ЧМС — человеко-машинная система.

Изучению влияния различных факторов (видов обеспечения) автоматизированных систем переработки информации (АС НБО) и управления космическим аппаратом на конечный результат функционирования объектов посвящено значительное число работ. Простое их перечисление заняло бы достаточно много места. Поэтому отметим лишь, что влияние на результаты расчетов разных видов обеспечения АС как инструментария (вносящего одновре-

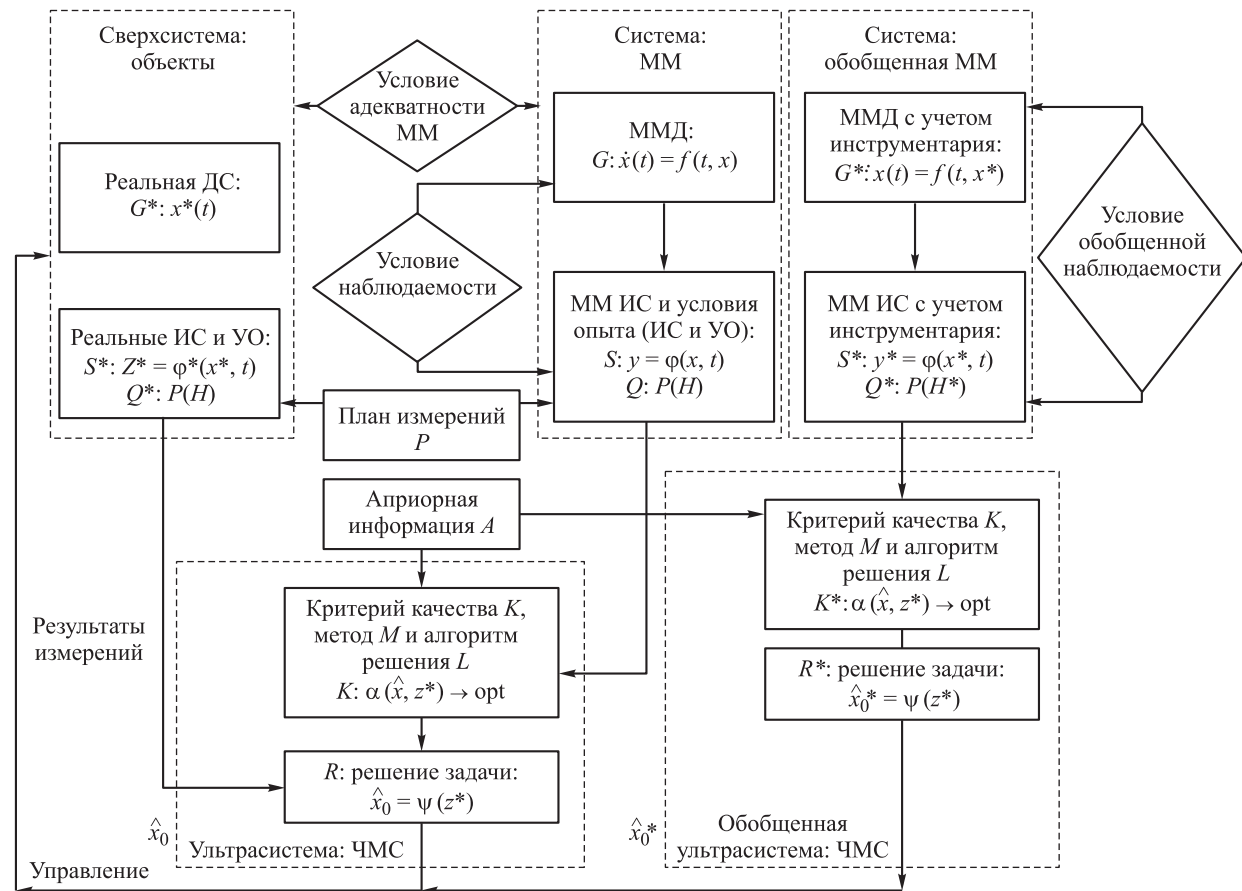
менно соответствующие деформации в решении задачи) изучено в неравной мере [7–15]:

- математического, информационного — более глубоко и фундаментально;
- программного и отдельных аспектов технического — достаточно детально;
- метрологического (в настоящее время только формируются основы системной метрологии), лингвистического и правового — менее основательно;
- организационного (например, разных моделей поведения оператора-баллистика в процессе выполнения технологического цикла НБО, «заложенных» в базу баллистических знаний) — еще меньше.

Требует значительных интеллектуальных усилий осмысление функционирования объект-системы ЗИ в условиях изменяющейся среды, например, целей расчетов, требований к процессу функционирования АС НБО и т. д. Само поведение объект-системы во времени и пространстве в окружении других объектов оказывается изменяющимся иногда детерминировано, иногда стохастически.

Вместе с тем исследование комплексного влияния максимального числа факторов-видов на конечный результат расчетов в известной литературе, по-существу, отсутствует. Это, по-видимому, связано с тем, что декомпозиционное рассмотрение влияния отдельных факторов в условиях 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 описать влияние каждого фактора-вида (например, отказов в функционировании аппаратуры и действий оператора-баллистика того или иного уровня организационной системы АС НБО при проведении расчетов) на конечный результат с достаточной мерой глубины.

Разработанная профессором А.В. Чечкиным общая теория ультраоператоров [4, 16] в значительной мере удовлетворяет требованиям исследования перечисленных вопросов, так как в ней определен и изучен новый вид отображе-



Структурная схема измерительных задач с определением обобщенных структурных свойств

ний, являющихся обобщением классических понятий. Классические отображения осуществляют соответствия между точками множеств. При этом подразумевается, что точки известны с абсолютной точностью. Новые отображения, названные ультраотображениями, реализуют соответствия между информацией о точках множеств.

Таким образом, достигается общность и возможность комплексного рассмотрения вопроса при сохранении всех особенностей детализированного описания исследуемого предмета. Основная конструкция теории, названной теорией ультрасистем, позволяет по отдельным сведениям о точке прообраза получать отдельные сведения о точке образа. На множестве ультраоператоров определяются различные операции и изучается их алгебра [16].

Применение ультраоператоров и ультрасистем позволяет эффективно описать и обобщенные структурные характеристики измерительных задач — обобщенная наблюдаемость, управляемость, идентифицируемость и т. д. — на образе объект-системы (а не только в ее математическом проявлении при постановке и решении задачи).

Так, под обобщенной наблюдаемостью в объект-системе может пониматься наблюдаемость задачи определения параметров движения сложного динамического объекта не только за счет ее «классических» математических аспектов (соответствующего ранга матрицы наблюдаемости и вариантов решения в плохо обусловленном случае), но также в расширенной математической трактовке (приведение нелинейной задачи с помощью линеаризации к линейному варианту и пр.) и путем 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 пр.).

При новом подходе использование информационной производной позволяет ввести критерий обобщенной наблюдаемости объектов, в том числе и объект-системы в целом. Последнее особенно важно при выявлении и анализе причин аварийных и нештатных ситуаций в летных испытаниях и определении параметров движения сложного динамического объекта.

Например, причиной неверных действий оператора радиотехнического измерительного комплекса может оказаться не отсутствие необходимого объема отработки им навыков действий в тех или иных ситуациях, а неверно составленная инструкция действий номера расчета в сложившейся ситуации или незргономичность спроектированной панели автоматизированного рабочего места и т. д.

В подобных задачах для верного поиска причин аварийной ситуации, прежде всего, следует найти ответ на вопрос: какие виды обеспечения рассматриваемой объект-системы обобщенно наблюдаемы или не наблюдаемы? При определении обобщенной ненаблюдаемости вносятся коррективы для выявления ненаблюдаемых элементов косвенно через дополнительные данные.

Дальнейшее совершенствование (в том числе доработка в части, касающейся теории ультраоператоров и ультрасистем) 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 ЗИ.

Выводы

1. Концепция расширения понятия наблюдаемости (и по аналогии с ним управляемости, идентифицируемости, адаптируемости и др.) обеспечивается рассмотрением объект-системы задача-инструмент решения в окружении «инфраструктуры». Причем в качестве инструментария выступают, как правило, АС по направлениям предметной области задачи с соответствующими подсистемами: математическими, программными, информационными, техническими, организационными, метрологическими, лингвистическими и правовыми. Эти подсистемы позволяют решать задачи повышенной сложности, но при этом вносят свои деформации в их решения.

2. Для решения измерительных задач с учетом обобщенных структурных свойств можно использовать теорию ультрасистем и ультраоператоров, модифицированную под рассматриваемую предметную область. Различные аспекты ее применения можно найти в работах [1, 4, 7].

Литература

- [1] Лысенко Л.Н., Бетанов В.В., Звягин Ф.В. *Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 518 с.
- [2] Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Джуган Р.В., Кукушкин С.С., Манин А.П., Мацькин С.В., Насенков И.Г., Потюпкин А.Ю., Челахов Д.М. *Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов*. Москва, Машиностроение-Полет, 2016. 440 с.
- [3] Разоренов Г.Н. *Введение в теорию оценивания состояния динамических систем по результатам измерений*. Москва, МО СССР, 1981. 272 с.
- [4] Байрамов К.Р., Бетанов В.В., Ступак Г.Г., Урличич Ю.М. *Управление космическими объектами. Методы, модели и алгоритмы решения некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения*. Москва, Радиотехника, 2012. 360 с.
- [5] Васильев Д.Г., Бетанов В.В. Применение методов имитационного моделирования в задачах изучения движения околоземных космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, № 7, 21 с. URL: <http://engjournal.ru/articles/1513/1513.pdf> (дата обращения 15 января 2018).
- [6] Васильев Д.Г., Недогарок А.А., Бетанов В.В. Обобщение структурного понятия наблюдаемости в задачах определения параметров движения космических аппаратов. *Актуальные проблемы Российской космонавтики РАН. Тр. XXXIX академических чтений по космонавтике*, Москва, 27–30 января 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 31–33.
- [7] Тюлин А.Е., ред. *Летные испытания космических объектов. Определение и анализ движения по экспериментальным данным*. Москва, Радиотехника, 2016. 332 с.
- [8] Лысенко Л.Н., Бетанов В.В. Анализ путей интеграции малых псевдостационарных геосинхронных спутников в топологию космического сегмента глобальных информационных систем. *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*, 2016, № 8–9, с. 3–20.
- [9] Степанов О.А. *Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания*. Санкт-Петербург, Концерн ЦНИИ Электроприбор, 2010. 509 с.
- [10] Бетанов В.В., Назаренко С.Г. Разработка системы управления знаниями навигационно-баллистического обеспечения создания и эксплуатации космических средств. *XLI Академические чтения по космонавтике (Королевские чтения РАН). Тез. докл.*, 24–27 января 2017, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 279–280.
- [11] Тюлин А.Е., Бетанов В.В. К вопросу повышения устойчивости решения обобщенных некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения на различных этапах полета КА. *Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2017). Тр. 7-й Всерос. конф.*, Санкт-Петербург, 17–21 апреля 2017, Санкт-Петербург, ИПА РАН, с. 196–198.
- [12] Бетанов В.В., Ларин В.К. Использование системного подхода к решению проблемных вопросов функционирования автоматизированного комплекса программ баллистико-навигационного обеспечения полетов КА ГНСС. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2016, т. 3, вып. 1, с. 3–10.
- [13] Бетанов В.В., Ларин В.К. Концепция построения базовой технологической модели разработки баллистической структуры автоматических КА. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2016, т. 3, вып. 4, с. 64–72.
- [14] Абовский Н.П., ред. *Нейрокомпьютеры и их применение. Кн. 13. Нейроуправляемые конструкции и системы*. Москва, Радиотехника, 2003. 367 с.
- [15] Галушкин А.И., ред. *Нейрокомпьютеры и их применение. Кн. 17. Нейрокомпьютеры в космической технике*. Москва, Радиотехника, 2004. 316 с.
- [16] Чечкин А.В. *Математическая информатика*. Москва, Наука, 1991. 416 с.

References

- [1] Lysenko L.N., Betanov V.V., Zviagin F.V. *Teoreticheskie osnovy ballistiko-navigatsionnogo obespecheniia kosmicheskikh poletov* [Theoretical bases of ballistic and navigation support of space flights]. Moscow, Bauman Press, 2014. 518 p.
- [2] Bulychev Iu.G., Vasil'ev V.V., Dzhugan R.V., Kukushkin S.S., Manin A.P., Matsykin S.V., Nasenkov I.G., Potiupkin A.Iu., Chelakhov D.M. *Informatsionno-izmeritel'noe obespechenie naturnykh ispytaniy slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov* [Information and measuring support of full-scale tests of complex technical systems]. Moscow, Mashinostroenie-Polet publ., 2016. 440 p.
- [3] Razorenov G.N. *Vvedenie v teoriyu otsenivaniia sostoianiia dinamicheskikh sistem po rezul'tatam izmerenii* [Introduction to the theory of dynamic systems state estimation by measurement results]. Moscow, MO SSSR publ., 1981. 272 p.
- [4] Bairamov K.R., Betanov V.V., Stupak G.G., Urlichich Iu.M. *Upravlenie kosmicheskimi ob'ektami. Metody, modeli i algoritmy resheniia nekorrektnykh zadach navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia* [Management of space objects. Methods, models and algorithms for solving ill-posed problems of navigation and ballistic support]. Moscow, Radiotekhnika publ., 2012. 360 p.
- [5] Vasil'ev D.G., Betanov V.V. *Primenenie metodov imitatsionnogo modelirovaniia v zadachakh izucheniia dvizheniia okolozemnykh kosmicheskikh apparatov* [Use of simulation modeling methods in problems of studying the near-Earth spacecraft motion]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2016, no. 7, 21 p. Available at: <http://engjournal.ru/articles/1513/1513.pdf> (accessed 15 January 2018).
- [6] Vasil'ev D.G., Nedogarok A.A., Betanov V.V. *Obobshchenie strukturnogo poniatiiia nabliudаемости v zadachakh opredeleniia parametrov dvizheniia kosmicheskikh apparatov* [Generalization of the structural notion of observability in the problems of determining the parameters of spacecraft motion]. *Aktual'nye problemy Rossiiskoi kosmonavtiki RAN. Trudy 39 akademicheskikh chtenii po kosmonavtike* [Actual problems of Russian cosmonautics. Proceedings 39 academic readings on cosmonautics]. 27–30 January 2015, Moscow, Bauman Press, 2017, pp. 31–33.
- [7] *Letnye ispytaniia kosmicheskikh ob'ektov. Opredelenie i analiz dvizheniia po eksperimental'nym dannym* [Flight tests of space objects. Motion detection and analysis using experimental data]. Ed. Tiulin A.E. Moscow, Radiotekhnika publ., 2016. 332 p.
- [8] Lysenko L.N., Betanov V.V. *Analiz putei integratsii mal'nykh psevdostatsionarnykh geosinkhronnykh sputnikov v topologiiu kosmicheskogo segmenta global'nykh informatsionnykh sistem* [Analysis of ways to integrate the pseudo small geosynchronous satellites in the topology of the space segment of the global information systems]. *Polet. Obshcherossiiskii nauchno-tekhnicheskii zhurnal* [All-Russian Scientific-Technical Journal. Flight]. 2016, no. 8–9, pp. 3–20.
- [9] Stepanov O.A. *Osnovy teorii otsenivaniia s prilozheniiami k zadacham obrabotki navigatsionnoi informatsii. Ch. 1. Vvedenie v teoriyu otsenivaniia* [Fundamentals of the theory of estimation with applications to problems of navigation information processing. Pt. 1. Introduction to the theory of estimation]. Sankt-Petersburg, Kontsern TsNII Elektropribor publ., 2010. 509 p.
- [10] Betanov V.V., Nazarenko S.G. *Razrabotka sistemy upravleniia znaniiami navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia sozdaniia i ekspluatatsii kosmicheskikh sredstv* [Development of a knowledge management system for navigation and ballistic support of the creation and operation of space assets]. *41 Akademicheskie chteniia po kosmonavtike (Korolevskie chteniia RAN), tez. dokl.* [Abstracts of the 41 Academic readings on cosmonautics (Korolyov's readings RAS)]. 24–27 January 2017, Moscow, Bauman Press, 2017, pp. 279–280.
- [11] Tiulin A.E., Betanov V.V. *K voprosu povysheniia ustoichivosti resheniia obobshchennykh nekorrektnykh zadach navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniia na razlichnykh etapakh poleta KA* [On the issue of increasing the stability of the solution of generalized ill-posed problems of navigation and ballistic support at various stages of the spacecraft flight].

- Trudy 7-oi Vserossiiskoi konferentsii IPA RAN «Fundamental'noe i prikladnoe koordinatno-vremennoe i navigatsionnoe obespechenie» (KVNO-2017)* [Proceedings of the 7th all-Russian conference Fundamental and applied coordinate-time and navigation support]. 17–21 April 2017, Sankt-Petersburg, 2017, pp. 196–198.
- [12] Betanov V.V., Larin V.K. Ispol'zovanie sistemnogo podkhoda k resheniiu problemnykh voprosov funktsionirovaniia avtomatizirovannogo kompleksa programm ballistiko-navigatsionnogo obespecheniia poletov KA GNSS [Using a systematic approach to solving the problematic issues of functioning of the automated complex of programs for ballistic and navigational support of GNSS spacecraft missions]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems]. 2016, vol. 3, is. 1, pp. 3–10.
- [13] Betanov V.V., Larin V.K. Kontseptsiiia postroeniia bazovoi tekhnologicheskoi modeli razrabotki ballisticheskoi struktury avtomaticheskikh KA [Concept of Development of Basic Engineering Model for Ballistic Structure of Unmanned Spacecraft]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems]. 2016, vol. 3, is. 4, pp. 64–72.
- [14] *Neirokomp'iutery i ikh primenenie. Kn. 13. Neiropravliaemye konstruktssii i sistemy* [Neurocomputers and their applications. B. 13. Neuro-controlled structures and systems]. Ed. Abovskii N.P., Moscow, Radiotekhnika publ., 2003. 367 p.
- [15] *Neirokomp'iutery i ikh primenenie. Kn. 17. Neirokomp'iutery v kosmicheskoi tekhnike* [Neurocomputers and their applications. B. 17. Neurocomputers in space technology]. Ed. Galushkin A.I., Moscow, Radiotekhnika publ., 2004. 316 p.
- [16] Chechkin A.V. *Matematicheskaiia informatika* [Mathematical informatics]. Moscow, Nauka publ., 1991. 416 p.

Статья поступила в редакцию 07.05.2018

Информация об авторах

БЕТАНОВ Владимир Вадимович (Москва) — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук, начальник центра АО «Российские космические системы» (111250, Москва, Российская Федерация, ул. Авиамоторная, д. 53, e-mail: vlavab@mail.ru).

КОРЯНОВ Всеволод Владимирович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: vkoryanov@mail.ru).

Information about the authors

BETANOV Vladimir Vadimovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Corresponding Member, Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Head of AO Russian Space Systems (111250, Moscow, Russian Federation, Aviamotornaya St., Bldg. 53, e-mail: vlavab@mail.ru).

KORYANOV Vsevolod Vladimirovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Space Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: vkoryanov@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Бетанов В.В., Корянов В.В. Концепция обобщения структурных свойств измерительных задач при навигационно-баллистическом обеспечении космического аппарата. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 7, с. 92–99, doi: 10.18698/0536-1044-2018-7-92-99.

Please cite this article in English as:

Betanov V.V., Koryanov V.V. The Concept of Generalization of Structural Properties of Measuring Tasks when Providing Navigation and Ballistic Support for Spacecraft. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 7, pp. 92–99, doi: 10.18698/0536-1044-2018-7-92-99.