

СИСТЕМНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАУЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И. В. Минаев, С. А. Золотой

На примере создания Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли рассматривается возможность практической реализации метода программно-целевого проектирования сложных организационно-технических систем, адаптированного к условиям реальных системных ограничений. Проведено исследование структуры процесса системного проектирования как одного из направлений обоснования рационального комплекса мероприятий по разработке и производству космических систем. Выявлены особенности научного сопровождения процессов создания космических систем дистанционного зондирования Земли в современных условиях. Рассматриваются методологические уровни анализа систем и их состав, подробно разбираются уровни принятия решений, разработана концептуальная модель исследований и практической деятельности. Установлена целесообразность применения как системного, так и эволюционного подходов, а также необходимость развития методических основ в области проектирования космических систем и комплексов дистанционного зондирования Земли по направлениям.

Ключевые слова: космическая техника, вертикально-горизонтальная декомпозиция, иерархия уровней анализа, эволюция и этапы принятия решений, Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли.

Космическая деятельность традиционно занимает ключевое место в геополитике государства и является одним из важнейших факторов, определяющих его статус как страны высоких технологий.

В общей схеме решения задач космической деятельности значительная роль отводится космической системе дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечивающей решение оборонных, социально-экономических и научных задач мониторинга природной среды.

С 1991 г. Республика Беларусь (РБ) является суверенным государством, самостоятельно осуществляющим внутреннюю и внешнюю политику. В это время состояние космической отрасли государства характеризовалось следующими основными особенностями существовавшей проблемной ситуации:

1) успешно решая задачи космического направления по многим программам СССР, Республика Беларусь не располагала национальной программой исследования космического пространства;

2) отдельные министерства и ведомства в Республике Беларусь, независимо друг от друга, занимались сбором и обработкой информации ДЗЗ;

3) в рамках Государственной программы космических исследований в тесном сотрудничестве с российскими предприятиями и Роскосмосом разрабатывались проекты, ориентированные, в основном, на использование в российских космических комплексах;

4) научно-исследовательские работы по созданию технологий использования космической информации в интересах белорусских министерств начали выполняться только с 1994 г.

Задачи, решаемые с использованием анализа данных ДЗЗ, являются для Республики Беларусь не менее актуальными, чем для всех развитых

государств мирового сообщества. Поэтому уже с первых лет существования РБ как суверенного государства разрабатывался комплекс научно-исследовательских и организационных мероприятий, последовательная реализация которых формировала базу для создания собственной космической отрасли.

Базовые модели проектирования Белорусской космической системы дистанционного зондирования

Решение сложившейся проблемной ситуации – актуальная государственная проблема, требующая комплексного подхода. Для обоснования вариантов такого решения и с учетом известных научных основ и практического опыта создания космических систем (КС) ДЗЗ был проведен структурный анализ особенностей создания и развития Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ) в реальной ситуационной обстановке.

На основании проведенного анализа, в соответствии с нормативными государственными документами и результатами научных исследований были определены следующие концептуальные требования к развитию космической деятельности РБ [2, 4, 5]:

1) основой реализации космической деятельности является последовательное внедрение процесса рационализации, включающего:

- снижение, или полный отказ от направлений, которые не имеют обоснования с позиций научно-технической целесообразности и наличия соответствующих ресурсов;
- максимальную экономию финансовых и материальных ресурсов за счет двойного использования космических систем и технологий;
- выполнение в условиях рыночной экономики проектов, которые материализуют рациональные задачи космической деятельности;

2) национальная политика государства в области ДЗЗ из космоса должна определяться следующими положениями:

- основной целью космической деятельности Республики Беларусь в области ДЗЗ является повышение эффективности решения управленческих задач всех уровней государственной власти;

- Республика Беларусь должна обеспечить себе свободный, гарантированный доступ к космической информации дистанционного зондирования своей территории и территории сопредельных районов приграничных государств;

- важной задачей является экспорт производимой в республике космической продукции;

- финансовые средства Республики Беларусь, вложенные в разработку и реализацию совместных Международных программ исследования и использования космического пространства, должны возвращаться в бюджет республики;

3) отмеченные базовые принципы создания БКСДЗ должны учитывать содержание основных мировых тенденций развития КС ДЗЗ, включающих:

- создание группировок малогабаритных космических аппаратов (КА) с перспективными целевыми характеристиками;

- совершенствование наземного сегмента управления орбитальными группировками КА и обработки получаемой космической информации;

- обеспечение целевой и экономической эффективности реализации КСН в виде совокупности КА двойного назначения.

Создание изделий ракетно-космической техники, входящих в состав космических систем ДЗЗ, является долгосрочным, дорогостоящим и наукоемким процессом, обеспечиваемым скоординированной деятельностью различных административных, научных и производственных организаций. Значительное количество принимаемых решений, высокие требования к оперативности и качеству их принятия и реализации, трудно прогнозируемые последствия и высокая мера ответственности за их результаты обуславливают важность научного сопровождения процессов создания космических систем ДЗЗ.

Структурное развитие научного сопровождения

На основании проведенного анализа были выделены следующие особенности научного сопровождения процессов создания КС ДЗЗ в современных условиях, обуславливающих необходимость развития методических основ в области проектирования космических систем и комплексов ДЗЗ [1, 3, 6, 7].

1. Организация исследования в рамках его «вертикально-горизонтальной» декомпозиции на



Рис. 1. Методологические уровни анализа систем: уровень U1 – «состав – свойства» (или элементарный уровень) соответствует производственному уровню; уровень U2 – «структура – функция» (или агрегативный уровень) соответствует отраслевому уровню подсистем; уровень U3 – «организация – поведение» (или системный уровень) соответствует уровню анализа систем; уровень U4 – «метасистема – деятельность»

основании общесистемного принципа внешнего дополнения, адаптированного к основным положениям программно-целевого метода развития космической отрасли и реализуемого в соответствии с основными государственными нормативными документами.

Опыт исследования сложных технических систем показывает целесообразность введения следующих четырех качественно различных методологических уровней анализа систем, отражающих один из важнейших принципов системного анализа – принцип декомпозиции систем (рис. 1).

В зависимости от характера проблемы распределение физических систем по уровням анализа будет меняться. Так, применительно к КС ДЗЗ в системе информационного обеспечения обоснованным можно считать следующий вариант состава уровней: U4 – система информационного обеспечения; U3 – КС ДЗЗ в составе технических средств обеспечения системы; U2 – подсистемы КС ДЗЗ (орбитальная группировка, система телекоммуникаций, наземный комплекс приема, обработки и распространения космической информации (НКПОР) и другие системы); U1 – предприятия организации производства и эксплуатации ракетно-космической техники.

Из рассмотренного следует основной вывод, прежде всего, о многовариантности целеполагания в проблеме развития КС ДЗЗ, которая влечет необходимость развернутого «вертикально-горизонтального» исследования модели проблемной ситуации.

2. Поскольку процессы создания КС ДЗЗ являются весьма сложным объектом исследования, включающим значительное число разнородных элементов (мероприятий, предприятий-исполнителей и т. д.), характеризующихся множеством различных параметров и многоуровневой иерархической структурой, создание единой формальной основы описания данных процессов, учитывающей все характеристики объектов

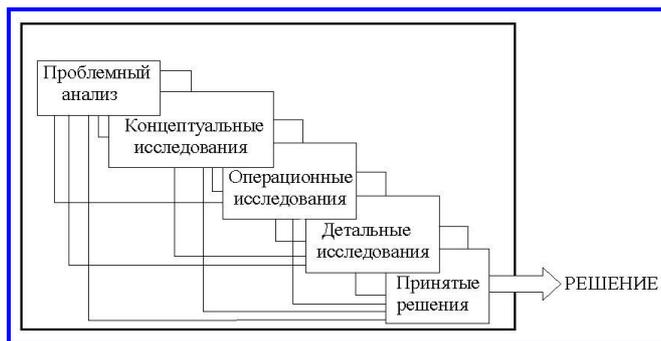


Рис. 2. Уровни принятия решений

предметной области, представляется затруднительным. В связи с этим обоснованным является использование принципиальных положений итерационно-эволюционного поэтапного проектирования с целью последовательной детализации закономерностей и характера взаимодействия проектируемых объектов.

Системные исследования в зависимости от степени обобщения учитываемых факторов принято разделять на обобщенные и детальные. В свою очередь в рамках обобщенных исследований, в зависимости от целей анализа, выделяют концептуальный и операционный уровни исследования. Содержание исследования на рассматриваемых уровнях можно представить следующим образом (рис. 2).

На этапе проблемного анализа на основе анализа ситуации осуществляется оценка действительной необходимости и возможности решения проблемы с учетом сложившихся условий, производится формирование и анализ целей и средств их достижения.

На этапе концептуальных исследований уточняются методологические особенности операционных исследований: производится уточнение целей и задач, установление уровней исследования, обоснование концепций рационального поведения, выбор обобщенных показателей и критериев эффективности.

На этапе операционных исследований уточняется и исследуется модель оценки эффективности стратегий достижения цели, множество возможных стратегий U_b селективируется до уровня допустимых U_d и «лучших» U^* стратегий.

На этапе принятия решений реализуется отображение множества «лучших» стратегий U^* в их «наилучший» вариант u^*

$$U^* \cdot \sigma \rightarrow u^*$$

где σ – множество возможных ситуаций, сложившихся к моменту принятия решения.

Принятие решений на любом уровне принципиально предполагает многоэтапную селекцию исходного множества возможных стратегий с использованием принятых концепций (K^i) поведения

системы на каждом этапе и обоснованного аппарата оценки эффективности стратегий (W), то есть решается многоэтапная задача последовательного вычленения стратегий и получения их «нехудшего» варианта u^* :

$$K^i, K^i, W, K^i, K \\ U_b \rightarrow U_d \rightarrow U^* \rightarrow u^*$$

при общей постановке задачи в виде

$$\langle K^i, U_b, W, K, u^* \rangle,$$

где U_b, U_d, U^* – множества возможных, допустимых и «лучших» стратегий; W – оценки эффективности стратегий.

3. В качестве базовой модели, описывающей наиболее общие аспекты процесса создания КС ДЗЗ, с использованием известных элементов моделирования разработана концептуальная модель исследований и практической деятельности, отражающая состав, структуру и наиболее важные характеристики ее объектов (рис. 3): СОБ – структурно-операционный базис; СФБ – структурно-функциональный базис.

В дальнейшем в интересах Союзного государства были разработаны и реализованы научно-технические программы, имеющие существенное научное и практическое значение, в том числе и для развития космической деятельности в рамках национальных программ Российской Федерации и Республики Беларусь.

Основными из этих программ являются (таблица):

- разработка и использование космических средств и технологий получения, обработки и отображения космической информации («Космос-БР» на 1999 – 2002 гг.);
- разработка и использование перспективных космических средств и технологий в интересах экономического и научно-технического развития Союзного государства («Космос-СГ» на 2004 – 2007 гг.);
- разработка базовых элементов, технологий создания и применения орбитальных и наземных средств многофункциональной космической системы («Космос-НТ» на 2008 – 2011 гг.);
- разработка интегрированной системы стандартизации космической техники, создаваемой в рамках программ и проектов Союзного государства («Стандартизация-СГ» на 2011 – 2014 гг.).

Разработанная в 2002 – 2003 гг. в НАН Беларуси с участием российских ученых Концепция создания Белорусской космической системы ДЗЗ была утверждена Указом Президента РБ в 2004 г., а Указом Президента РБ 2007 г. БКСДЗ уже рассматривалась как основа космической отрасли РБ.

Таблица

Космические программы Республики Беларусь

Госпрограммы РБ	Программы союзного государства					
	1993	1998	2002	2007	2012	2017
Государственная программа космических исследований	Национальные проекты	Космос-БР	Космос-СГ			
Первая национальная космическая программа Государственная комплексная целевая научно-техническая программа «Информационные и космические технологии»				Космос-НТ	Стандартизация-СГ Мониторинг-СГ Государственные научно-технические программы (ГНТП) Государственные программы научных исследований (ГПНИ)	
Вторая национальная космическая программа						Интеграция-СГ

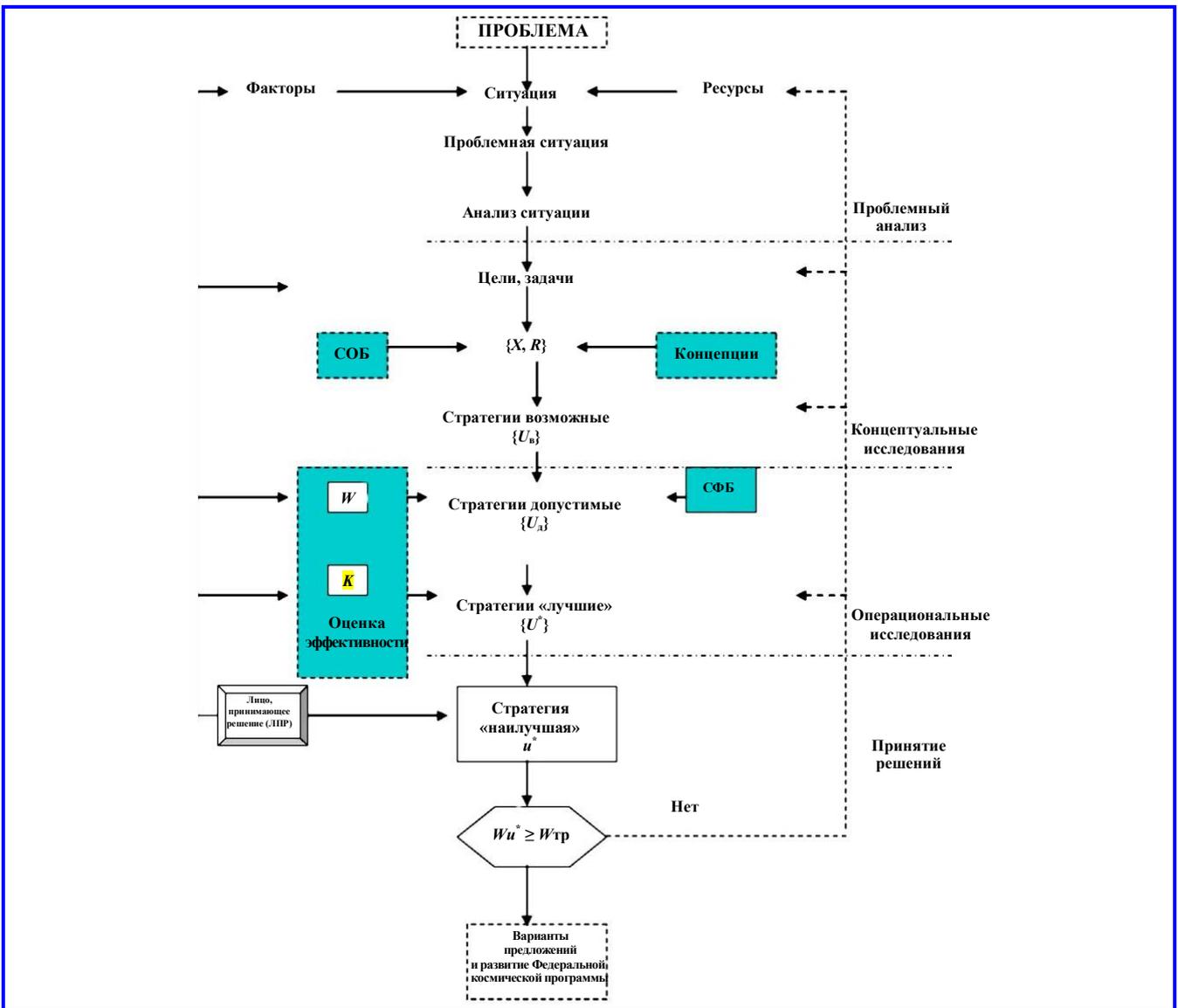


Рис. 3. Модель исследований и практической деятельности

Выводы

1. Проведено исследование структуры процесса системного проектирования как одного из направлений обоснования рационального комплекса мероприятий по разработке и производству БКСДЗ, позволяющее учесть влияние разнородных факторов внешней среды, техническую сложность решаемой задачи и требования к результатам ее решения.

2. Необходимые для исследований основные положения теории принятия решений адаптированы к рассматриваемой предметной области с учетом целесообразности введения четырех качественно различных методологических уровней анализа систем, отражающих один из важнейших принципов системного анализа – принцип декомпозиции систем.

3. Обоснованная структура исследований и практической деятельности по созданию и развитию БКСДЗ в современных условиях представлена в виде разработанной модели основных этапов исследования процесса принятия решений, определяющей многовариантность целеполагания в проблеме развития КС ДЗЗ и необходимость развернутого «вертикально-горизонтального» исследования модели проблемной ситуации.

В этой связи для моделирования процессов создания и развития БКСДЗ целесообразным представляется применение как системного, так и эволюционного подходов.

4. Анализ известных источников обусловил необходимость развития методических основ в области проектирования космических систем и комплексов ДЗЗ по направлениям, определяемым в соответствии с разработанной моделью и позволяющим осуществлять формирование облика БКСДЗ

с учетом реализуемости проектирования в условиях многофакторных неопределенностей.

Литература

1. Методология принятия решений при исследовании военно-технических систем / С. Н. Воробьев, Е. С. Егоров, В. У. Торбин. – Москва : МО РФ, 1987. – 92 с.
2. Концепция создания Белорусской космической системы дистанционного зондирования (БКСДЗ) / Л. А. Макриденко, С. А. Жданок, С. А. Золотой [и др.] ; НАН РБ. – Минск : НАН Беларуси, 2003. – 49 с.
3. Особенности разработки и использования КС ДЗЗ в интересах социально-экономического развития РФ. В 3 частях. Часть 2. Системное обоснование логической структуры проектирования перспективных КС ДЗЗ / Л. А. Макриденко, И. В. Минаев, С. Н. Волков // Вопросы электромеханики. – Т. 104. – 2007. – С.149 – 159.
4. Национальная программа исследования и использования космического пространства в мирных целях на 2008 – 2012 годы : утверждено Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 14.10.2008 г., № 1517.
5. Государственная программа «Наукоемкие технологии и техника на 2016 – 2020 годы», пп.7 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях». Утв. Пост. СМ РБ 2.12.2016 г., № 991.
6. Методические основы научного сопровождения процессов создания космических систем дистанционного зондирования Земли / И. В. Минаев, С. А. Золотой // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2017. – № 1/35. – С. 83 – 86.
7. Уточнение задачи научного сопровождения процессов создания космических систем ДЗЗ / С. А. Золотой, И. В. Минаев, Г. Г. Молоканов // Тезисы докладов 5-й МНТК «Актуальные проблемы создания космических систем ДЗЗ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2017. – С. 11 – 13. – URL : http://www.vniiem.ru/ru/uploads/files/conferences/170525/sbornik_tezisov_2017.pdf (дата обращения : 14.11.2019).

Поступила в редакцию 14.11.2019

Игорь Викторович Минаев, доктор технических наук, профессор, советник генерального директора, т. (495) 625-24-18, e-mail: vniiem@orc.ru. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

Сергей Анатольевич Золотой, кандидат технических наук, докторант, директор. (УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси).

SYSTEM JUSTIFICATION OF SCIENTIFIC SUPPORT OF BELORUSIAN SPACE SYSTEM OF THE EARTH REMOTE SENSING DESIGN

I. V. Minaev, S. A. Zolotoi

The possibility of practical implementation of the method of program-targeted design of complex organizational and technical systems adapted to the conditions of real system limitations is illustrated by the example of creation of the Belarusian space system for the Earth remote sensing. The structure of the system design process, as one of the directions for justifying a rational set of measures for the devel-

opment and production of space systems, has been studied. The specifics of scientific support of the processes of creating the space systems for the Earth remote sensing in modern conditions have been revealed.

The methodological levels of the analysis of systems and their components have been considered, the levels of decision-making have been analyzed in detail, a conceptual model of research and practical activity has been developed. The expediency of applying both system and evolutionary approaches, as well as the need to develop methodological principles in the field of designing the space systems and complexes of the Earth remote sensing according to the directions, has been confirmed.

Key words: space equipment, vertical / horizontal decomposition, hierarchy of analysis levels, evolution and stages of decision making, Belarusian space system of the Earth remote sensing.

References

1. Methodology principles of decision making during research of military and technical systems / S. N. Vorobiev, E. S. Egorov, V. U. Torbin. – Moscow: MO RF, 1987. – 92 p.
2. Concept of creation of the Belarusian space system of remote sensing (BSSRS) / L. A. Makridenko, S. A. Zhdanok, S. A. Zolotoi [et al.]: NAS of RB. – Minsk: NAS of Belarus, 2003. – 49 p.
3. Specifics of development and usage of the ERS SC in favor of social and economic progress of the RF. In three parts. Part 2. System justification of the logical structure of prospective ERS SC / L. A. Makridenko, I. V. Minaev, S. N. Volkov // Matters of Electromechanics. – Vol. 104. – 2007. – Pp. 149 – 159.
4. National Program of Space exploration and peaceful use for 2008 – 2012: approved by Decision of Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 14.10.2008, No. 1517.
5. State Program ‘Hi-end technologies and equipment for 2016 - 2020’, item 7 ‘Space exploration and peaceful use’. Approved by Decision Council of Ministers of the Republic of Belarus dated 2.12.2016, No. 991.
6. Methodology principles of scientific support of the Earth remote sensing space systems creation processes / I. V. Minaev, S. A. Zolotoi // Journal Vestnik of NPO named after S. A. Lavochkin. – 2017. – No. 1/35. – Pp. 83 – 86.
7. Rectification of the task regarding scientific support of the process of creation of the ERS space systems / S. A. Zolotoi, I. V. Minaev, G. G. Molokanov // Abstracts of the 5th International Scientific and Technical Conference ‘Current issues in creation of the ERS space systems’. – Moscow: VNIEM Corporation JC, 2017. – Pp. 11 – 13. – URL: http://www.vniem.ru/ru/uploads/files/conferences/170525/sbornik_tezisov_2017.pdf (applied on: 14.11.2019).

Igor Viktorovich Minaev, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor,
Director General Advisor, tel.: +7 (495) 625-24-18, e-mail: vniem@orc.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).

Sergei Anatolevich Zolotoi, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Candidate for Doctor’s degree, Director.
(UE «Geoinformation systems» of the national Academy of Sciences of Belarus).