Геодезическое обеспечение как сложная система

Geodetic support as a complex system

Цветков / Tsvetkov V.
Виктор Яковлевич
(cvj2@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
АО «Научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на
железнодорожном транспорте»,
заместитель руководителя.
г. Москва

Ознамец / Oznamets V.
Владимир Владимирович
(voznam@bk.ru)
кандидат технических наук, профессор,
почетный работник высшего профессионального
образования РФ, эксперт РАН.
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет геодезии и картографии»,
заведующий кафедрой геодезии.
г. Москва

Филатов / Filatov V.
Валерий Николаевич
(filatov@itain.ru)
доктор военных наук, профессор,
почетный геодезист,
действительный член Академии военных наук.
АО «Российские космические системы»,
главный конструктор по геодезическому обеспечению.
г. Москва

Ключевые слова: геодезическое обеспечение – geodetic support; сложная система – complex system; системный анализ – system analysis; пространственный анализ – spatial analysis; информационные отношения – information relations.

Рассматривается задача системного анализа сущности геодезического обеспечения (ГО). Целью работы является разработка модели ГО в виде сложной системы. Рассматриваются формальные модели сложных систем, которые можно применить для описания ГО. Исследуются задачи и подзадачи ГО. Выявлено девять основных и шесть вспомогательных задач ГО. Системная модель ГО строится на основе анализа ключевых факторов. Выявлены специфические характеристики, которые характеризуют только ГО и никакие другие системы. Выявлено, что существуют два типа моделей ГО: статические и динамические. Выявлено, что существует многоцелевое и одноцелевое ГО Анализ показал, что ГО как система относится к классу сложных технологических систем. На основе исследований предложена новая системная модель ГО.

The problem of system analysis of the geodetic support (GS) essence is considered. The aim of the work is to develop GS models in the form of a complex system. Formal models of the complex systems that can be used to describe the CS are considered. The problems and sub problems of the GS are investigated. Nine major and six auxiliary problems are identified. The GS system model is based on the analysis of key factors. Specific characteristics which characterize the GS only and no other systems are identified. It is revealed that there are two types of GS models: static and dynamic. It is revealed that there are a multi-purpose and a single-purpose GS. The analysis showed that the GS as a system belongs to the class of complex technological systems. On the basis of research, a new system model of the GS is proposed.

Введение

Геодезическое обеспечение как особое направление геодезии связано не только с эволюцией геодезии, но и с развитием общества. В плане общественных потребностей геодезическое обеспечение осуществляет технологическую и научную поддержку развития общества. Следует отметить, что во многих справочниках и на многочисленных сайтах Интернет геодезическое обеспечение трактуют как чисто технологические работы или технологический комплекс. Однако в реальности кроме технологической составляющей важную часть геодезического обеспечения составляет научная составляющая. Технология всегда опирается

2 2019.indd 88 14.06.2019 16:54:02

на науку и это касается геодезического обеспечения. Научная компонента геодезического обеспечения направлена на разработку новых методов математического и логического обеспечения [1] потребностей науки и технологий. Фактически научная компонента геодезического обеспечения представляет собой поисковые исследования, которыми занимаются немногочисленные ученые. Результаты этих поисковых работ трансформируются в технологии, которые использует большое количество практиков специалистов. Эти специалисты часто далеки от науки и научных проблем и поэтому трактуют геодезическое обеспечение только как технологии, которыми они владеют. Современное геодезическое обеспечение тесно интегрировано с методами других наук. Это определяет особенность геодезического обеспечения – интеграция с задачами других наук и направлений, например такими как управление и поддержка устойчивого развития общества. Можно определить направление геодезического обеспечения как реактивное направление, которое реагирует на появление новых научных разработок и технико-технологических потребностей общества.

Теоретическая часть

Современный этап эволюции человечества характеризуется возрастанием информационных и технологических потребностей общества. Дополнительно приходится решать проблему «больших данных» [2], которую характеризуют большие объемы информации, большое разнообразие данных, часто слабая структурированность больших массивов информации и критическое требование высоких скоростей обработки информации. Анализ проблемы показывает, что значительная часть больших данных содержит пространственные данные. Это обусловлено освоением космического пространства и глобализацией общества. Пространственная информация необходима для управления экономикой, территориями и транспортом. Еще одним фактором является широкое использование спутниковых технологий в строительстве, проектировании, навигации и даже в туристическом бизнесе. Все это связано с геодезическим обеспечением.

Формальные описания сложных систем

Формальные описания сложных систем [3, 4] используют для выделения существенных признаков системы и ее назначения. Формальное описание часто называют дескриптивной моделью. Рассмотрим описание систем по мере усложнения. Простейшее описание сложной системы (SYS) основано на выделении параметров, которые определяют ее сущность и согласованы между собой. Такое описание системы можно назвать комплементарным. Самое простое описание включает структуру системы, связи, элементы и отношения.

$$SYS = < Pr, Str, E, C, R>, \quad (1)$$

В выражении (1) Pr – совокупность частей системы. Str – структура системы. E – множество элементов в системе; C – множество связей в системе. R – множество отношений между элементами, частями и подсистемами. В выражении (1) подсистемы не выделены. Это описание указывает, что система состоит из разнородных частей и имеет структуру. В описании (1) сложная система представляет собой некую абстракцию и не связана с внешней средой, то есть является закрытой. Закрытые системы можно рассматривать как некоторую закрытую модель, применяемую для исследования особенности данной модели.

На практике применяют не абстрактные модели, а реальные системы, которые всегда выполняют некие функции и решают конкретные задачи в определенной предметной области. Реальные системы являются приложением системной теории к практике. Поскольку такие системы привязаны к предметной области, то такой класс систем называют прикладными системами.

При переходе от абстрактной сложной системы (SYS) к прикладной системе (AS) [5], необходимо включить наличие цели. В этом определении добавим к уже рассмотренному кортежу (1) множество целей G. Прикладная система взаимодействует с внешней средой. Поэтому надо включить в описание входы и выходы системы. Наличие входов и выходов системы связывает систему с внешней средой и позволяет моделировать информационное и физическое взаимодействие системы со средой. В этом случае прикладная система цели имеет описание вида:

$$AS = <Ps, Pr, Str, E, C, R, G, in, out>, \quad (2)$$

В выражении (2) Ps – совокупность подсистем; G – множество целей, Здесь in – множество входов, out – множество выходов системы. Остальные параметры такие же как в (1). Выражение (2) характеризует системы с одной или множеством целей. При наличии множества целей система называется многоцелевой. [6]. Описание (2) также является описанием открытой системы. В выражении (2) можно отметить системные признаки: структурность (Str), связанность (C), целеопределенность (G). Эти признаки соответствуют параметрам системы.

Границы системы со многими входами и выходами определить достаточно сложно. В качестве критерия, позволяющего определить эти границы, можно выбрать силу связей между элементами. Это позволяет выделить из системы внутренние элементы и граничные элементы. Граничные элементы определяют границы системы. Система существует только тогда, когда сила связей между элементами системы сильнее силы связей со средой.

В ряде ситуаций применение систем играет роль время выполнения технологического цикла. На практике функционирование прикладной системы происходит в пределах некоторого допустимого интервала времени – интервала (ΔT). Это является ограничением

2 2019.indd 89 14.06.2019 16:54:02

применимости системы. В этом случае описание (2) должно быть дополнено параметром ΔT – время оперативной реакции прикладной системы:

$$AS(t) = <Ps, Pr, Str, E, C, R, G, in, out, \Delta T>, \quad (3)$$

Следующим этапом расширения описания является учет человеческого фактора или требование определенного уровня квалификации, который описывается когнитивным фактором *Cog*. Включение когнитивного фактора *Cog* в систему формирует человеко-машинную систему (*HMS*), которая может быть описана как

$$SYS=AS=HMS = <Ps, Pr, Str, E, C, R, G, in, out, \Delta T, Cog>, \quad (4)$$

Параметры G, ΔT, Cog являются ограничительными. Они определяют область применимости данной системы. Выражение (4) показывает, что *HMS* является эволюцией сложной системы. В качестве *HMS* часто рассматривают сложные объекты, такие как фирма, орган государственной власти, государственный фонд и др. такие системы называют эргатическими [7]. Если влияние когнитивного фактора несущественное, его исключают из описания системы.

Следующим усложнением описания является учет возможной динамики параметров системы с течением времени. В этом случае говорят о динамических системах. Для динамической системы $DS(t)$ характерно изменение некоторых параметров со временем и включение времени как аргумента

$$DS(t) = <Ps, Pr(t), Str(t), E, C(t), R(t), G(t), in, out, \Delta T>, \quad (5)$$

Выражение (5) описывает системы с переменной структурой $Str(t)$ [8] и с выбором цели $G(t)$. Выражения (1–5) являются линейными описаниями и допускают последующие модификации. Например, иногда цели разбивают на внешние ($G(t)_{out}$) и внутренние ($G(t)_{in}$) или на цели функционирования и развития

$$G(t) \rightarrow G(t)_{in} + G(t)_{out}$$

Внутренние цели обеспечивают саморазвитие системы. Внешние цели направлены на выживаемость во внешней среде. Между ними существует конфликт, поскольку ресурсы системы всегда конечны. Это дает основание расширить описание и включить в него два типа целей и ресурсы. Ресурсы системы определяют ее жизненный цикл.

$$AS(t) = <Ps, Pr, Str, E, C, R, G, in, out, \Delta T\, G(t)_{in}, G(t)_{out}, Res>, \quad (6)$$

В выражении (6) *Res* – ресурсы системы. Для геодезического обеспечения подходят модели (4), (5), (6).

Экспериментальные исследования

Задачи геодезического обеспечения. В силу потребностей развития общества в пространственной информации современное геодезическое обеспечение в настоящее время является интегрированным научно-технологическим комплексом, решающим широкий круг разнообразных задач. Можно определить направление геодезического обеспечения как реактивное направление, которое реагирует на появление технико-технологических потребностей общества. Задачи геодезического обеспечения вытекают из потребностей общества. Ниже выделены и пронумерованы основные задачи и подзадачи.

1. Современный этап эволюции человечества характеризуется проблемой «больших данных», которую характеризуют большие объемы, разнообразие данных, иногда слабая структурированность информации и требование высоких скоростей обработки информации.

Анализ больших данных показывает, что значительная часть таких данных содержит пространственные данные. Это естественно в условиях освоения космического пространства и глобализации общества. Пространственная информация необходима для управления транспортом и глобального развития экономики. Еще одним фактором является повсеместное использование спутниковых технологий в строительстве, проектировании, навигации и даже в туристическом бизнесе. Для эффективного развития территорий также необходима пространственная информация как основа координации управления и основа принятия адекватных решений. Все это связано с геодезическим обеспечением. Это ставит задачу обработки больших массивов информации, получаемых в геодезическом обеспечении.

Геодезическое обеспечение связано с развитием геодезии. Существуют разные концепции развития геодезии. Первая локальная концепция: геодезия – это наука о Земле. Вторая концепция: геодезия – это наука о пространстве.

2. В первой концепции прямым объектом исследования геодезии является фигура и поверхность Земли, косвенно объектом исследования являются все процессы и явления, происходящие на земной поверхности. Отсюда, задача геодезического обеспечения в рамках этой концепции – это разработка комплекса научных методов и технологий, направленных на исследование процессов и явлений, происходящих на земной поверхности.

3. Во второй концепции предметом исследования геодезии является окружающее пространство, в том числе внеземное пространство. Это определяет задачу геодезического обеспечения как описание мирового пространства.

4. Исследование реального пространства осуществляется через информационное поле [9]. Это ставит задачу геодезического обеспечения – выявление законов

2 2019.indd 90 14.06.2019 16:54:02

и новых закономерностей в пространстве, в информационном поле и в окружающем мире

5. При освоении пространства выявляют новые закономерности и факты. Эти факты необходимо обобщать и систематизировать. Это ставит задачу геодезического обеспечения – применение методов системного анализа для систематизации информации об окружающем мире.

6. Геодезическое обеспечение является посредником между окружающей средой и потребителями пространственной информации. Это определяет одну из задач геодезического обеспечения, которую следует назвать информационной [10]. Информационная задача геодезического обеспечения состоит в удовлетворении информационных потребностей общества в пространственной информации. Такая ситуация определяет две подзадачи геодезического обеспечения.

6.1. Первая подзадача геодезического обеспечения состоит в получении пространственной информации в виде, удобном для потребителя информации.

6.2. Вторая подзадача геодезического обеспечения состоит в построении пространственных моделей, которые по существу являются накоплением опыта освоения пространства. Геодезическое обеспечение при этом включает методы картографии, фотограмметрии, геоинформатики и дистанционного зондирования.

7. Одним из назначений пространственной информации является обеспечение управления территориями и экономикой [11]. Это определяет задачу геодезического обеспечения, которую можно назвать управленческой. Она состоит в поддержке пространственной информацией государственной и административной деятельности. Причем следует подчеркнуть, что эта поддержка пространственной информацией, а не геодезической. Чиновнику не нужна геодезическая информация, угловые измерения или координаты. Ему нужна пространственная информация, согласованная с экономической и управленческой технологией. В этом направлении геодезического обеспечения пространственная информация должна быть согласована с управленческой информацией и преобразована по возможности в управленческую информацию.

7.1. Это ставит подзадачу преобразования пространственной информации в вид, удобный для решения задач управления.

8. Геодезия в процессе исследования окружающего мира входит в систему наук и совместно с другими науками создает общую научную систему мира. Это создает специальную задачу геодезического обеспечения: познание окружающего мира. Эта задача может быть определена как познавательная. Познавательная задача имеет две подзадачи.

8.1. Первая подзадача состоит в исследовании и формировании моделей являются пространственных отношений [12], пространственных знаний [13].

8.2. Вторая подзадача данной задачи состоит в формировании картины мира [14] в содружестве с другими науками. Эта подзадача может быть названа системной, поскольку состоит в построении системной информации, как части картины мира.

9. Важная задача геодезического обеспечения состоит в поддержке и проведении различных видов мониторинга, включая космический мониторинг. В прикладных областях это геотехнический мониторинг [15, 16]. Научная компонента геодезического обеспечения в этой области выполняет функции обобщения разных технологий мониторинга. В рамках геодезического обеспечения мониторинг рассматривается как интегрированный адаптивный комплекс, решающий широкий спектр прикладных задач.

Формирование модели системы геодезического обеспечения

Формирование системной модели геодезического обеспечения произведем на основе методики формального описания сложной системы и задач, которые стоят перед геодезическим обеспечением (geodetic support – *GS*). При этом существуют два типа моделей стационарные *GS* и динамические *GS*(*t*). На практике в большинстве случаев применяют стационарные модели геодезического обеспечения. Стационарное геодезическое обеспечение проводят по заранее установленному плану в установленные сроки с утвержденными нормативами использования ресурсов. Динамическое геодезическое обеспечение применяют в ситуациях, для которых ряд параметров неизвестны, параметры меняются со временем и могут появляться новые параметры.

Рассмотрим ключевые параметры, характерные для геодезического обеспечения. В процессе геодезического обеспечения выполняют измерения и получают первичные данные, которые затем преобразуют во вторичные данные. Это задает набор характеристик: измерения (Measurements – *Ms*); первичные данные (Primary data – *Dp*); вторичные данные (Secondary data – *Ds*).

Геодезическое обеспечение (ГО) относится к типу технологических систем [17], либо к типу организационно технических систем [18]. Это зависит от соотношения технологий, техники и организационной компонент. В обычных условиях ГО – это технологическая система. В силу этого элементы системы ГО являются технологическими:

Eh – множество технологических элементов в системе;

Ek – множество технических элементов в системе;

Для ГО важны условия работ и этот фактор должен быть отражен в системе. Это задает параметр *ISitu* – условия проведения работ информационная ситуация проведения работ.

Геодезическое обеспечение может выполняться последовательно и параллельно для поддержки разных направлений кадастр, строительство, транспорт и т.д. Это задает два типа связей:

2 2019.indd 91 14.06.2019 16:54:02

Rp – множество парадигматических отношений между частями системы. *Rs* – множество синтагматических отношений между частями системы.

Если цели системы ГО четко не определены, то структура работ зависит от уточнения целей. Это определяет характеристику *Str*(*g*) – переменная и адаптивная структура системы, определяемая видом задачи или целью *G* обеспечения. *C* – технологические связи в системе. Задачей геодезического обеспечения является формирование разных моделей: поверхности, прогноза, динамики и др. Это определяет введение параметра, описывающего модели (Models – *Md*). Взяв за основу выражение (6), получаем для описания ГО как системы.

$$GS(t) = < G, Str(g), Eh, Ek, C, Rp, Rs, Ms, Dp, Ds, Md, Res, ISitu >, \quad (7)$$

В выражении (7) параметр времени входит в ситуационный параметр. Входы и выходы подразумеваются, но не показаны из-за того, что они обычно регламентированы и стандартизованы. Это определяет их как устойчивый параметр. Выражение (7) дает основание утверждать, что геодезическое обеспечение является сложной прикладной системой и обладает системными признаками. Выражение (7) дает возможность сравнивать разные виды геодезического обеспечения между собой и обобщать опыт.

Обсуждение

Использование методов системного анализа и системного моделирования пока ограниченно применяется в геодезии и геодезическом обеспечении. Однако это необходимое условие для встраивания геодезии и геодезического обеспечения в мировую системы наук. Системное моделирование необходимо также для обобщения опыта работ геодезического обеспечения. Системное моделирование ГО необходимо также для развития теории и технологий геодезического обеспечения.

Заключение

Современное геодезическое обеспечение, как и геодезия, претерпело существенные изменения в связи с развитием космических технологий и расширением области применения. Это требует углубленного анализа геодезического обеспечения не как разрозненных технологий, а как целостной сложной системы, решающей достаточно широкий класс задач. Рассмотрение геодезического обеспечения только как технологии тормозит развитие научных методов и ставит геодезическое обеспечение России в зависимость от технических средств, которые в большинстве изготавливают в зарубежных странах. Применение системного подхода в геодезии и геодезическом обеспечении систематизирует и расширяет науку и позволить получать решения новых задач.

Литература

1. Ознамец, В. В. Логика геодезического обеспечения / В.В. Ознамец // Славянский форум. – 2018. – № 3 (21). – С. 114–119.
2. Павлов, А. И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии / А.И. Павлов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 96–100.
3. Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001 – 512 с.
4. Цветков, В. Я. Теория систем: Монография / В.Я. Цветков. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с.
5. Цветков, В. Я. Прикладные системы / В.Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 3. – С. 78–85.
6. Кужелев, П. Д. Интеллектуальное многоцелевое управление / П.Д. Кужелев // Государственный советник. – 2014. – № 4. – С. 65–68.
7. Мордвинов, В. А. Информационные потребности эргатических систем / В.А. Мордвинов // Славянский форум. – 2017. – № 4(18). – С. 42–49.
8. Уткин, В. И. Системы с переменной структурой: состояние проблемы, перспективы / В.И. Уткин // Автоматика и телемеханика. – 1983. – №. 9. – С. 5–25.
9. Tsvetkov, V. Information field / V. Tsvetkov // Life Science Journal. – 2014 – Vol. 11, No. 5. – P. 551–554.
10. Ознамец, В. В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий / В.В. Ознамец. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 134 с.
11. Бахарева, Н. А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении / Н.А. Бахарева // Государственный советник. – 2013. – № 4. – С. 39–42.
12. Майоров, А. А. Георeференция как применение пространственных отношений в геоинформатике / А.А. Майоров, В.Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 87–89.
13. Цветков, В. Я. Пространственные знания / В.Я. Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 7. – С. 43–47.
14. Коваленко, Н. И. Информационный подход при построении картины мира / Н.И. Коваленко // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 7–11.
15. Цветков, В. Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг / В.Я. Цветков // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.
16. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству продуцируемой информации / З.Ш. Алескерова [и др.] //Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 3. – С. 81–86.
17. Буравцев, А. В. Сложные технологические системы / А.В. Буравцев // Славянский форум. – 2017. – № 4 (18). – С. 14–19.
18. Корнаков, А. Н. Модель сложной организационно-технической системы / А.Н. Корнаков // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 44–50.

2 2019.indd 92 14.06.2019 16:54:02