

Схемы радикалов для задачи формирования рабочей программы целевой аппаратуры космического аппарата

© М.В. Пирогов, Н.Н. Плещев, В.В. Рожков

АО «НПО Лавочкина», г. Химки, 141402, Россия

Рассмотрена задача формирования списка объектов для космической съемки. Для ее решения предложено использовать математические объекты — схемы радикалов, направленные на устранение принципиальных недостатков, связанных с применением математических моделей и соответствующих программно-технических средств в проблемной области сложных целенаправленных систем. Необходима математическая стандартизация сложных целенаправленных систем, основанная на применении схем радикалов. Обоснована необходимость применения схем радикалов для стандартного представления объектов наблюдения и ограничений в работе целевой аппаратуры космического аппарата для задачи формирования ее рабочей программы.

Ключевые слова: космическая съемка, целевая аппаратура космического аппарата, радикал, среда радикалов, схема радикалов, радикальное моделирование, радикальное программирование, язык RADICAL, информационно-системная безопасность, информационная форма.

Введение. Задача формирования рабочей программы (РП) целевой аппаратуры (ЦА) космического аппарата (КА), входящего в состав космической системы (КС), заключается в формировании, на основании заявок потребителей и с учетом ограничений на работу ЦА КА (накладываемых особенностями КА и бортовых систем), списка подлежащих съемке объектов наблюдения (ОН) с указанием соответствующих временных промежутков. Для проблемной области сложных целенаправленных систем (ЦС), в том числе КС, характерны большое число разнообразных значимых составляющих, их значимых свойств и связей; изменчивость проблемной области во времени; широкое и все возрастающее применение сложных разнообразных и быстро развивающихся программно-технических средств (ПТС). Проблемной области ЦС, ПТС ЦС присущи как значительные достижения, так и существенные недостатки — вплоть до масштабных, невосполнимых потерь, аварий и катастроф. Для ПТС характерны следующие принципиальные недостатки: наличие проблем верификации и безотказности; затрудненность модифицирования; возможность семантических ошибок (практически, с учетом сложности программ, неизбежность) в программах.

Недостатки вызваны широким использованием «по умолчанию» для математического обеспечения ЦС, для ПТС ЦС (и для ЦС в це-

лом) — «технологии серых модулей». При использовании «технологии серых модулей» возможны такие ситуации, в которых автор программы, реализующей математическую модель, не может оперативно и с достаточной полнотой пояснить ее устройство и работу. При технологии «серых модулей» информатизация, автоматизация проблемной области фрагментарна.

Для такой технологии характерно широкое использование документации (отчеты, служебные записки, письма и т. п.), основанной на естественном языке, автоматизация работы с которой, с точки зрения заключенных в документах знаний, затруднена (часто практически невозможна). Математизация, формализация проблемной области недостаточна, она не соответствует объективно высокой сложности и ответственности подлежащих решению задач.

Авторы настоящей статьи выход из сложившейся ситуации видят в следующем: в единообразной математической стандартизации [1] и формализации проблемной области ЦС и ПТС ЦС (в рассматриваемом случае — проблемной области управления ЦА КА), при которой все значимые объекты проблемной области рассматриваются как математические, представленные формально и преобразуемые по определенным правилам. Обеспечение математической стандартизации ЦС представляется, с учетом быстрого возрастания их масштабов, сложности и критичности, важной стратегической задачей.

Цель работы — обоснование необходимости применения математических объектов (схем радикалов) для стандартного представления объектов наблюдения и ограничений в работе целевой аппаратуры космического аппарата для задачи формирования ее рабочей программы.

Метод радикального моделирования и язык RADICAL. Основой математической стандартизации проблемной области целенаправленных систем служат математические объекты — радикалы в качестве средства формализации и математической стандартизации проблемной области формирования РП ЦА КА. Они универсальны и «естественны» как для ЦС, так и для математики и информатики. Основанные на понятиях радикала и концепции среды радикалов, информационно-системной безопасности (ИСБ) радикальное моделирование (РМ) и радикальное программирование (РП) [2, 3] рассматриваются авторами настоящей статьи как «главное» средство разрешения проблем ПТС ЦС и ЦС. Кроме того, в основании РМ и РП находится идея о лексиконе программирования [4, 5]. Требование ИСБ включает информационную безопасность, а также системную безопасность — сохранение системной целостности ЦС, обработку последствий всех изменений ее проблемной области. Под радикалом понимается любая функциональная (выполняющая функции по своему назначению) система, имеющая два типа состояний —

активные (радикал функционирует согласно своему назначению) и пассивные (радикал «выключен»). Радикалы вместе с их связями между собой образуют среду радикалов (СР) — радикальную модель (РМ) проблемной области. Среда радикалов, все ее составляющие представляются с помощью универсального языка RADICAL формальными описаниями — схемами радикалов. Отметим, что одна из основ РМ и РП, лексикон программирования, является языковой средой, средством описания объектов предметных областей, содержащим нотацию для построения соответствующих баз знаний. Программа, выраженная средствами лексикона, содержит описание своей семантики. Внутреннее единство подлежащей формальному представлению сложной проблемной области приводит к необходимости единой формы такого представления. Для обеспечения ИСБ проблемной области подсистемы решения задачи формирования РП ЦА КА необходима единообразная формализация такой проблемной области, ее избыточное (на случай нестандартных ситуаций) моделирование и, на этой основе, — интеллектуализация [6–9]. (Здесь под интеллектуализацией понимается обеспечение организации успешных попыток решения нестандартных задач.)

Для обеспечения ИСБ подсистема формирования РП (и любая другая ЦС) должна рассматриваться как автоматизированная система (АС), имеющая следующие виды обеспечения (компоненты обеспечений): организационное, методическое, техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, правовое и эргономическое при приоритете математического (а также программного, информационного и технического) обеспечения. Жизненный цикл (ЖЦ) подсистемы формирования РП рассматривается как процесс модификации компонентов обеспечений соответствующей АС. Радикальное моделирование и программирование, язык RADICAL составляют основу единообразной формализации проблемной области подсистемы формирования РП, а также формализации проблемной области любой ЦС. Единообразная формализация соответствует объективному единству всей проблемной области ЦС, «направленной» на решение целевых задач. С помощью языка RADICAL обеспечивается представление значимых составляющих проблемной области ЦС, их значимых свойств и связей (как в статике, так и динамике, эволюции), а также представление преобразований проблемной области. Конструкции языка RADICAL подлежат реализации с помощью ПТС.

Отметим объективную необходимость постоянного и систематического исследования изучаемой проблемной области, необходимость построения, анализа и оценки ее формальных описаний, выраженных с помощью языка RADICAL. Полученные таким образом знания должны использоваться в дальнейшем при решении целевых задач.

Применяемый в радикальном моделировании язык схем радикалов RADICAL универсален, применим к любой ЦС, в том числе к подсистеме формирования РП ЦА космического аппарата. Для проблемной области любой ЦС определены радикалы-уникумы (они соответствуют составляющим проблемной области) и радикалы-контейнеры (представляют свойства и связи уникамов). Имена радикалов-уникамов начинаются с символа «и». Первый символ имен радикалов-контейнеров — символ «с». Имеются также ультраконтейнеры — правила. Из уникамов, контейнеров и ультраконтейнеров строятся другие, более сложные, схемы радикалов. Среда радикалов, РМ проблемной области ЦС можно представить схемами радикалов (см. далее рис. 1–6). Объекты наблюдения, их характеристики, все составляющие проблемной области можно описать схемами радикалов.

Имеются различные «стандартные» представления схем радикалов [2] — символьные, геометрические и табличные (см. рис. 1–3). На основе применения таких представлений предусмотрена возможность формирования любых удобных «пользовательских» представлений схем. В целях удобства работы в СР имеется возможность в зависимости от решаемой задачи формировать различные сечения СР, управлять видимостью тех или иных схем радикалов, «вырезать» из СР фрагменты и «склеивать» их. Отметим, схемы радикалов изменяются во времени, что должно автоматически фиксироваться (при программной реализации СР) с помощью специальных радикалов представления времени [2].

Для представления иерархических структур проблемной области применяют контейнеры, объединяющие, например, некоторое «целое» и его «части». В виде схем радикалов можно представить, например, следующие факты:

- проблемная область включает КС и окружающую ее среду;
- КС содержит в себе космический комплекс и наземный комплекс;
- космический комплекс объединяет КА и ретранслятор;
- КА несет аппаратуру съемки;
- наземный комплекс содержит пункты приема информации.

С помощью схем радикалов также могут быть представлены факты, описывающие целевую обстановку (ОН). Они должны быть представлены формально (с помощью схем радикалов) для обеспечения автоматизированной/автоматической работы с ними при опоре на логику [2]. С помощью контейнеров и вложенных в них уникамов реализуется основная системообразующая идея координатизации среды радикалов — идея координатной системы контейнеров: каждый уникам «вкладывается», в общем случае, в различные и разнотипные контейнеры. Конечно, могут иметь место различные частные случаи.

Например, могут быть уникамы, вкладываемые в контейнеры одного и того же типа. «Вложение» уникамов в контейнеры инициируется специалистами по ЦС при работе с РМ.

В языке RADICAL предусмотрены средства для выделения («окрашивания») и активации схем радикалов. Можно формулировать запросы к СР, получать и анализировать соответствующие ответы, например, запрос обо всех ОН, попавших в «мертвую зону», — область, в которой съемка «технически» невозможна.

Конфликты в СР представляются недопустимыми заполнениями контейнеров. С помощью ультраконтейнеров (правил) должно обеспечиваться прогнозирование конфликтов, их разрешение, уход от конфликтов при решении задач СР. Преобразования схем радикалов должны рассматриваться с точки зрения приближения СР к конфликтам (удаления от конфликтов).

Задачи всех типов и методы их решения могут быть рассмотрены с помощью схем радикалов. Общий метод решения задач в СР — двунаправленный (ДН) метод получения целевого уникама (уникама, решающего задачу) с помощью избыточной библиотеки радикалов. Введен основной оператор РМ [2], использующий ДН-метод и решающий основную задачу управления и развития ЦС, характерную для всех уровней радикальной модели — задачу построения, реализации целевых уникамов.

С помощью схем радикалов можно показать как дискретные, так и непрерывные математические объекты. Эти схемы можно применять для следующих компонентов:

- программного обеспечения (программные классы, функции и т. п.);
- информационного обеспечения (базы данных, таблицы и т. п.);
- технического обеспечения.

Все виды обеспечения ЦС (АС), а также их компоненты должны быть представлены схемами радикалов, реализованными с помощью ПТС.

В настоящей статье введено понятие представимой схемами радикалов типовой АС, в рамках которой обеспечивается развитие технологии радикального программирования (ТРП), а также предложена поэтапная нормализация радикальной модели [2]:

первый этап — координатизация радикальной модели (выделение уникамов и контейнеров);

второй этап — ультраоснащение радикальной модели (в модель добавляются ультраконтейнеры-правила);

третий этап — иерархическая организация радикальной модели, осуществляемая по специальным принципам.

Применение языка RADICAL обеспечивает принципиальную возможность протекания в СР трех стандартных информационных процессов:

- целевого, отвечающего за решение задач функционального назначения ЦС;
- сенсорного, отвечающего за коррекцию, полноту и адекватность радикальной модели, за ее динамическую адаптацию;
- сертификационного, отвечающего за решение гомеостатических задач.

Язык RADICAL рассматривают как изменяющуюся многоуровневую стандартизованную языковую среду, развитие которой осуществляется в ходе решения основной задачи радикального моделирования и радикального программирования — задачи достижения целевой схемы радикалов из исходной схемы, иными словами, задачи достижения целевого состояния проблемной области ЦС из ее исходного состояния вместе со всеми подзадачами такой задачи и обязательным обеспечением ИСБ.

В [2] сформулирован следующий тезис о выразительных возможностях языка RADICAL. Любая математическая модель любой значимой составляющей проблемной области ЦС, которая описывается в терминах сущностей, свойств, связей, событий, преобразований, правил, выделения, активации и построения, реализации одних математических объектов с помощью других математических объектов, может быть представлена схемами радикалов как в статике, так и в динамике.

Построение схем радикалов. Рассмотрим построение некоторых схем радикалов, характерных для представления ОН и ограничений в работе ЦА КА для задачи формирования ее РП. (Все приведенные в данной статье примеры и рисунки имеют упрощенный, демонстрационный характер.)

На рис. 1–3 приведена в различных представлениях одна и та же схема радикалов, в которую входят радикалы-уникумы, радикалы-контейнеры, символы стрелки (служат для образования цепочек радикалов [2]), служебные радикалы d[1] и d[2] идентификации направлений в контейнерах.

Символьное представление схемы радикалов приведено на рис. 1, на котором схематично изображены три контейнера. Первый из них, cSystem_SubSystem, связывает главную систему — уникам uSystem_Main (доступную в контейнере по направлению d[1]) с подсистемой формирования РП — уникамом uSystem_RP (она доступна по направлению d[2]). Второй контейнер, uSystem_Events, объединяет подсистему формирования РП uSystem_RP и доступное в ней событие — уникам uEvent_ShootingOfON, по совершению которого

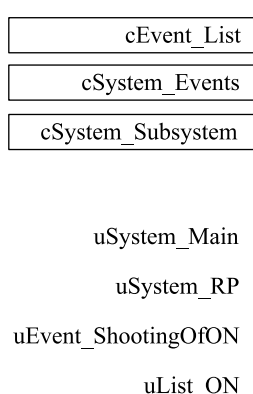
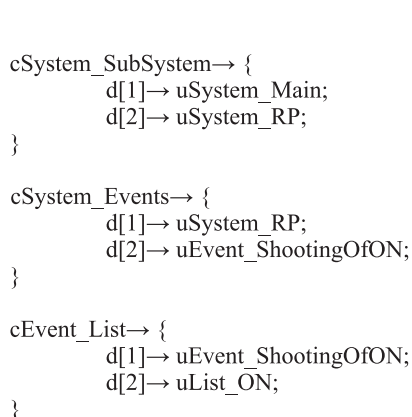


Рис. 1. Символьное представление схемы радикалов

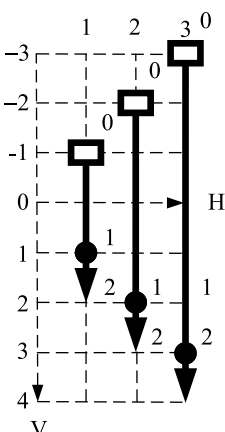


Рис. 2. Геометрическое (векторное) представление схемы радикалов

рассчитывается снимаемость объектов наблюдения. Третий контейнер, cEvent_List, содержит событие расчета снимаемости uEvent_ShootingOfON и обрабатываемый по его совершению уникам — список ON uList_ON.

Примечание. ON — словесное описание проблемной области, uList_ON — имя радикала из радикальной модели.

Все типы контейнеров должны быть определены заранее и доступны в библиотеке радикалов. Также должны быть созданы уникамы, завершающие направления в контейнерах. В результате настройки экземпляров контейнеров, цепочки, содержащие служебные радикалы направлений, будут завершены соответствующими уникамами. Например, в экземпляре контейнера cSystem_Events направление 1 будет завершено уникамом uSystem_RP, направление 2 — уникамом uEvent_ShootingOfON.

Геометрическое (векторное) представление той же схемы радикалов приведено на рис. 2.

На плоскости введена прямоугольная система координат, оси которой направлены вправо (ось H) и вниз (ось V). Радикалы, представляющие типы контейнеров, находятся на оси V : cSystem_SubSystem ($V = -1$); cSystem_Events ($V = -2$); cEvent_List ($V = -3$). Радикалы-уникамы расположены на оси V под ними: uSystem_Main ($V = 1$); uSystem_RP ($V = 2$); uEvent_ShootingOfON ($V = 3$) и uList_ON ($V = 4$). На вертикалях $H = 1, 2, 3$ представлены экземпляры контейнеров соответствующих типов ($V = -1, -2, -3$). Так, на вертикали $H = 1$ представлен экземпляр контейнера типа cSystem_SubSystem ($V = -1$). Точка ($H = 1; V = -1$) пересечения вертикали $H = 1$ с горизонталью $V = -1$ помечена для наглядности символом прямоугольника, а также символом «нулевого» направления «0». В рассматриваемом представлении показано, что экземпляр контейнера, расположенный на вертикали $H = 1$, имеет тип cSystem_SubSystem. Выделенная точка

($H = 1; V = 1$) означает, что есть вложение в рассматриваемый контейнер уникама `uSystem_Main` (расположенного на горизонтали $V = 1$), а также о том, что этот уникам доступен в контейнере по направлению «1» (точка помечена соответствующим символом). Точка ($H = 1; V = 2$) помечена символом «2», т. е. в контейнере доступен также (по направлению «2») уникаму `uSystem_RP`. С помощью рассматриваемого геометрического представления схемы радикалов возможно также отображение доминирования одних уникамов другими. В приведенном примере в контейнере вертикали $H = 1$ лежащий на горизонтали $V = 1$ уникаму `uSystem_Main` доминирует над уникамом `uSystem_RP`, принадлежащий горизонтали $V = 2$ (система доминирует подсистемой), для отображения чего точка ($H = 1; V = 1$) помечена кругом, а в точку ($H = 1; V = 2$) входит стрелка. Остальные вертикали $H = 2$ и $H = 3$, используемые, соответственно, для представления экземпляров контейнеров `cSystem_Events` и `cEvent_List` «устроены» аналогично. Табличное представление этой схемы радикалов приведено на рис. 3.

A	B	C	x1	x2	x3
-3	c	Event_List			0
-2	c	System_Events		0	
-1	c	System_Subsystem	0		
1	u	System_Main	1		
2	u	System_RP	2	1	
3	u	Event_ShootingOfON		2	1
4	u	List_ON			2

Рис. 3. Табличное представление схемы радикалов

Числовое поле *A* таблицы — это поле ее первичного ключа. Поле *B* может содержать либо символ «с», и тогда строка таблицы характеризует радикал-контейнер, либо символ «u» — в этом случае строка соответствует радикалу-уникуму. Типы контейнеров представлены в верхних строках таблицы, уникамы находятся в нижней ее части. Экземпляры контейнеров представляются в столбцах *x1*, *x2* и *x3* аналогично рассмотренному выше геометрическому представлению.

Схемы радикалов (см. рис. 1–3), относятся к *L*-представлениям СР (*L* — от слова «logic»). Они позволяют сконцентрироваться на «логике» проблемной области, ее составляющих, их свойствах и связях. В языке RADICAL используют также представления другого типа — *G*-представления (*G* — от слова «geometry»). На рис. 4 изобра-

жена таблица G -представления — плоская 2D-область проекций, состоящая из «элементарных» уникамов-квадратов $u11, \dots, u33$.

С помощью G -таблиц можно представить любые твердые тела проблемной области, например ОН. На рис. 5 с помощью G -таблицы показан ОН, приближенный уникамами-квадратами $u12, u21, u22,$

u11	u12	u13
u21	u22	u23
u31	u32	u33

Рис. 4. Таблица G -представления

u11	u12	u13
u21	u22	u23
u31	u32	u33

Рис. 5. Объект наблюдения, представленный уникамами-квадратами G -таблицы

A	B	C	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
-8	c	cUpRight								0
-7	c	cRight							0	
-6	c	cDownRight						0		
-5	c	cDown					0			
-4	c	cDownLeft				0				
-3	c	cLeft			0					
-2	c	cUpLeft		0						
-1	c	cUp	0							
1	u	u11		2						
2	u	u12	2							
3	u	u13								2
4	u	u21			2					
5	u	u22	1	1	1	1	1	1	1	1
6	u	u23							2	
7	u	u31				2				
8	u	u32					2			
9	u	u33						2		

Рис. 6. Окрестность уникама $u22$ (L -таблица)

u23, u31, u32. Построение проекции объекта наблюдения осуществляется с помощью окрашивания соответствующих «элементарных» уникамов-квадратов.

G - и L -представления связаны между собой. На рис. 6 с помощью L -таблицы показана окрестность уникама u22, принадлежащего G -таблицам (см. рис. 4 и 5). Аналогичные представления существуют для каждого из уникамов u11, ..., u33.

Планирование съемки ОН можно осуществлять с помощью «последнего» разбиения множества всех ОН по важности на конечное число подмножеств, представляемых G -таблицами. Геометрические характеристики полосы обзора КА зависят от ограничений, налагаемых целевой аппаратурой и также могут быть представлены с помощью G -таблицы. Расчет снимаемости ОН проводится «последовательно» на основе системы правил, учитывающих временные и энергетические характеристики модели. Вначале определяют возможность съемки наиболее важных ОН. Затем переходят к расчету снимаемости менее важных объектов.

Обсуждение результатов. Применение схем радикалов для решения задачи формирования рабочей программы целевой аппаратуры космического аппарата позволяет, находясь на единой основе, осуществлять формализацию проблемной области, делать ее видимой в различных сечениях (с разных «точек зрения»), удобной для перманентного анализа, контроля, модификаций и сравнения вариантов решений задач, начиная с самых ранних этапов жизненного цикла автоматизированной системы. Становится принципиально возможной постоянная и постепенная «многоуровневая» сертификация получаемых решений, «полноаспектная» преемственность в ходе работ над автоматизированными системами.

Авторы настоящей статьи считают, что многочисленные отрицательные примеры, относящиеся к ЦС, заставляют сделать вывод о принципиальном неблагополучии мира ЦС, разобщенность которого в целом возрастает, несмотря на попытки интеграции, носящей фрагментарный, «механистический» характер. Многочисленные и разнообразные связи, которые должны соединять все ЦС и их оставляющие в единое целое, остаются во многом неучтенными и нереализованными с помощью ПТС. Состояние проблемной области ЦС позволяет утверждать, с учетом значения их для современного общества, о реальности угроз аварий и катастроф огромного масштаба, в том числе внезапных. Таким образом, для ЦС необходимы новые средства, технология, направленная на обеспечение ИСБ ЦС на основе формализации, стандартизации, интеллектуализации и применения ПТС.

В качестве основы таких средств и технологии авторами монографии [2], а также авторами данной статьи предлагаются математические объекты — схемы радикалов, универсальный язык схем ради-

калов RADICAL и радикальное моделирование, которое не только предлагает универсальные средства единообразного построения математических моделей проблемной области ЦС, но и требует избыточности таких моделей на случай нештатных ситуаций. С помощью схем радикалов должны быть зафиксированы все значимые составляющие проблемной области ЦС, их свойства и связи с учетом преобразований схем, их изменчивости во времени, вариантности и необходимости обеспечения ИСБ. При этом ЦС должна моделироваться как часть всего мира ЦС, погруженного в окружающую среду. На радикальном моделировании основана технология радикального программирования (ТРП) — технология пошаговой разработки и сертификации ПТС с применением библиотек схем радикалов [2]. В работе [2] отмечено, что на практике возможны различные виды (варианты, режимы) автоматизации ТРП, расположенные между ручным режимом ТРП (ТРП-min) и автоматическим режимом (ТРП-max).

При режиме ТРП-min схемы радикалов существуют отдельно от программного кода. Специалист работает и со схемами, и с кодом — текстами на языках программирования. Не следует считать этот режим неполноценным, неработоспособным. Специалист получает возможность разрабатывать формальные описания проблемной области, всесторонне и тщательно анализировать их, что сразу дает качественно более высокий уровень работы вследствие наглядности схем радикалов. Следует отметить, что радикальное моделирование и радикальное программирование неконфликтны по отношению к другим средствам автоматизации проблемной области ЦС. Необходимое взаимодействие всегда может быть налажено. Интенсивность использования схем радикалов, уровень автоматизации работы с ними можно наращивать постепенно (что, конечно, не исключает возможности существенных, качественных скачков) вплоть до уровня автоматического режима.

В режиме ТРП-max для большинства специалистов доступны только схемы радикалов проблемной области СС. Программные коды должны автоматически генерироваться на основе схем радикалов. ПТС реализации схем радикалов могут быть, по тем или иным причинам, разными. В ходе научно-технического прогресса они могут заменяться. Однако сама технология работы со схемами радикалов в своей основе остается неизменной. В случае ТРП-max язык RADICAL является «последним языком программирования» в рассматриваемом смысле.

Отметим, что в настоящее время имеются многочисленные средства для создания прикладного программного обеспечения. Разработано более двух с половиной тысяч языков программирования и накоплен большой опыт, как положительный, так и отрицательный, их создания и эксплуатации. Созданы электронные таблицы, системы

управления базами данных, средства визуального программирования и многое другое. Эти инструменты позволяют реализовывать, например, табличные представления схем радикалов, работать с такими представлениями, безотлагательно проводя, в том числе актуальные исследования проблемной области ЦС.

Заключение. Значительный опыт практического применения языка RADICAL, полученный при анализе проблемной области формирования рабочей программы целевой аппаратуры космического аппарата [7–10], космического аппарата [10], при разработке и эксплуатации прикладного программного обеспечения, позволяет утверждать о насущной необходимости разработки и развития единой системы информационных форм, основанной на радикальном моделировании, схемах радикалов языка RADICAL и покрывающей (с избытком) всю рассматриваемую проблемную область.

Необходима развивающаяся стандартизация рассматриваемой проблемной области, основанная на применении единой системы информационных форм и возможностях программно-технических средств. Стало насущным формирование расширяемой библиотеки стандартных информационных форм (библиотеки радикалов) как основы базы знаний предприятия в условиях быстро развивающихся программно-технических средств. Применение единой системы информационных форм и библиотеки радикалов ведет к «радикальному» изменению технологии работы с информацией (основанной в значительной степени на применении естественного языка), сводит к минимуму значительные «непроизводительные» затраты. Специалисты получают возможность полностью сосредоточиться на сути решаемых задач — работать в необходимых терминах составляющих проблемной области, их свойств и связей, делая доступными разработанные формальные описания для согласования, результаты которого также выражаются с помощью схем радикалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чечкин А.В., Пирогов М.В. Необходимость радикальной стандартизации в формализме радикального моделирования и радикального программирования целенаправленных автоматизированных систем. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, 2018, № 8, с. 3–19.
- [2] Васенин В.А., Пирогов М.В., Чечкин А.В. *Информационно-системная безопасность критических систем: монография*. Москва, КУРС, 2018, 348 с.
- [3] Пирогов М.В. Радикальное программирование. *Программная инженерия*, 2013, № 4, с. 2–15.
- [4] Ершов А.П. Предварительные соображения о лексиконе программирования. *А.П. Ершов. Избранные труды*. Новосибирск, 1994, с. 395–406.
- [5] Котов В.Е. Расширяющаяся вселенная информатики. *Андрей Петрович Ершов — ученый и человек*. Новосибирск, 2006, с. 158–166.

- [6] Потюпкин А.Ю., Чечкин А.В. *Искусственный интеллект на базе информационно-системной избыточности: монография*. Москва, КУРС, 2019, 384 с.
- [7] Соболева Т.С., Чечкин А.В. Обеспечение развития систем на основе интеллектуализации и радикального моделирования таких систем. *Сборник трудов Всероссийской конференции «Современная математика и концепция инновационного математического образования»*. Москва, 2015, с. 33–44.
- [8] Чечкин А.В. Классификация базовых ультрасистем. *Труды V Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепция инновационного математического образования»*. Москва, МФО, 2018, с. 104–119.
- [9] Подколзин А.С. *Компьютерное моделирование логических процессов. Архитектура и языки решателей задач*. Москва, Физматлит, 2008, 1024 с.
- [10] Губанов А.А., Пирогов М.В., Плещев Н.Н., Рожков В.В. Управление знаниями и данными автоматизированного комплекса планирования и управления. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, 2015, № 3, с. 51–58.

Статья поступила в редакцию 24.01.2020

Ссылку на статью просим оформлять следующим образом:

Пирогов М.В., Плещев Н.Н., Рожков В.В. Схемы радикалов для задачи формирования рабочей программы целевой аппаратуры космического аппарата. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 4.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-4-1973>

Пирогов Михаил Викторович — канд. физ.-мат. наук, инженер 2-й категории, АО «НПО Лавочкина». e-mail: polvad@laspace.ru

Плещев Никита Николаевич — математик 2-й категории, АО «НПО Лавочкина». e-mail: polvad@laspace.ru

Рожков Владимир Вадимович — ведущий математик, АО «НПО Лавочкина». e-mail: polvad@laspace.ru

Radical schemes for representing objects of observation and restrictions in the operation of the spacecraft target equipment for the task of forming its working program

© M.V. Pirogov, N.N. Pleshchev, V.V. Rozhkov

Lavochkin Research and Production Association, Khimki, 141402, Russia

The paper considers the problem of generating a list of objects for space survey. To solve the problem it is proposed to use mathematical objects — schemes of radicals, aimed at eliminating critical weaknesses related to the use of mathematical models and corresponding software and hardware in the problem area of complex goal-oriented systems. Also mathematical standardization of complex goal-oriented systems based on the use of radical schemes seems to be necessary. The paper substantiates the need for using radical schemes for the standard representation of objects of observation and restrictions in the operation of the spacecraft target equipment for the task of designing its working program.

Keywords: space survey, spacecraft target equipment, radical, radical environments, scheme of radicals, radical modeling, radical programming, RADICAL language, information system security, information pattern

REFERENCES

- [1] Chechkin A.V., Pirogov M.V. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye — Neurocomputers*, 2018, no. 8, pp. 3–19.
- [2] Vasenin V.A., Pirogov M.V., Chechkin A.V. *Informatsionno-sistemnaya bezopasnost kriticheskikh sistem: monografiya* [Information and system security of critical systems: monograph]. Moscow, KURS Publ., 2018, 348 p.
- [3] Pirogov M.V. *Programmnaya inzheneriya (Software Engineering)*, 2013, no. 4, pp. 2–15.
- [4] Ershov A.P. Predvaritelnye soobrazheniya o leksikone programmirovaniya [Preliminary considerations on the lexicon of programming]. In: *Izbrannye trudy* [Selected works]. Novosibirsk, 1994, pp. 395–406.
- [5] Kotov V.E. Rasshiraushchayasya vseennaya informatiki [Expanding universe of computer science]. In: *Andrey Petrovich Ershov — uchenyy i chelovek* [Andrey Petrovich Ershov as a Scientist and a human being]. Novosibirsk, 2006, pp. 158–166.
- [6] Potyupkin A.Yu., Chechkin A.V. *Iskusstvennyy intellekt na baze informatsionno-sistemnoy izbytochnosti: monografiya* [Artificial intelligence on the basis of information and system redundancy: monograph]. Moscow, KURS Publ., 2019, 384 p.
- [7] Soboleva T.S., Chechkin A.V. Obespechenie razvitiya sistem na osnove intellektualizatsii i radikalnogo modelirovaniya takikh sistem [Ensuring the development of systems based on intellectualization and radical modeling of such systems]. *Sbornik trudov Vserossiyskoy konferentsii «Sovremennaya matematika i kontseptsiya innovatsionnogo matematicheskogo obrazovaniya»* [Proceedings of the all-Russian conference “Modern mathematics and the concept of innovative mathematical education”]. Moscow, 2015, pp. 33–44.
- [8] Chechkin A.V. Klassifikatsiya bazovykh ultrasistem [Classification of the base ultrasystems]. *Sbornik trudov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennaya matematika i kontseptsii innovatsionnogo matemati-*

cheskogo obrazovaniya» [Proceedings of the all-Russian conference “Modern mathematics and the concept of innovative mathematical education”]. Moscow, MFO Publ., 2018, pp. 104–119.

- [9] Podkolzin A.S. *Kompyuternoe modelirovanie logicheskikh protsessov. Arkhitektura i yazyki reshateley zadach* [Computer modeling of logical processes. Architecture and languages of problem solvers]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008, 1024 p.
- [10] Gubanov A.A., Pirogov M.V., Pleshchev N.N., Rozhkov V.V. *Neyrokompyutery: razrabotka, primenenie* — *Neurocomputers*, 2015, no. 3, pp. 51–58.

Pirogov M.V., Cand. Sc. (Phys.-Math), Engineer, Lavochkin Research and Production Association. Research interests: ballistics, control of space flights, informatics.
e-mail: polvad@laspace.ru

Pleshchev N.N., Mathematician of the 2nd category, Lavochkin Research and Production Association. Research interests: ballistics, control of space flights, informatics.
e-mail: polvad@laspace.ru

Rozhkov V.V., Leading Mathematician, Lavochkin Research and Production Association. Research interests: ballistics, control of space flights, informatics.
e-mail: polvad@laspace.ru