

УДК 629.78.018

И.Б. ТУРКИН, П.А. ЛУЧШЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ЯЗЫК ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены теоретические аспекты применения проблемно-ориентированных языков для описания технологических процессов испытаний сложных технических систем. Приведена формальная грамматика языка, который с учетом практических особенностей использован в описании технологических процессов испытаний системы энергоснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА).

испытания, технологический процесс испытаний, формальные языки, формальные грамматики, проблемно-ориентированные языки

Введение

Анализ процессов проектирования, технологической подготовки производства и производства изделий на различных стадиях их жизненного цикла позволяет сделать вывод о том, что в условиях быстрого развития средств механизации и автоматизации производственных процессов сдерживающим фактором остается недостаточная степень поддержки интеллектуального труда конструктора-технолога современными инструментальными системами и их слабая интеграция в системы автоматизации управления технологическими процессами.

Комплексное решение всех задач, связанных с проектированием, производством и эксплуатацией изделий, необходимо осуществлять в рамках постоянно совершенствуемых автоматизированных систем, использующих **единые методы и средства** для решения всех задач конструирования и технологической подготовки производства [1].

Общая постановка проблемы. В жизненном цикле сложных технических систем, таких как космические аппараты (КА), одним из важнейших этапов являются испытания, технологические процессы (ТП) которых в отличие от ТП производства требуют большей гибкости от аппаратно-программных средств. Для реализации инструментальных средств

подготовки ТП испытаний важнейшим вопросом является проблема выбора или разработки проблемно-ориентированного языка общения, который не должен накладывать ограничений, усложняющих восприятие информации человеком, и в тоже время должен быть достаточно эффективным для обработки компьютером с учетом требований реального времени, обеспечивать согласованное восприятие, передачу и хранение информации [2].

Фактически введение в специализированных областях деятельности проблемно-ориентированного языка в целях улучшения реализации его коммуникативной функции при поиске, хранении и переработке информации, является необходимым приемом обеспечения точности взаимодействия. Проблемно-ориентированный язык обычно базируется на синтаксисе и тезаурусе естественного языка, но фактически обязан своим существованием необходимостью большей степени формализации описаний для научных целей, нежели это можно получить от использования полного языка.

Анализ публикаций. Обзор нерешенных проблем. Современные средства АСУ ТП используют пять специализированных языков (IL, ST, LD, FBD, SFC) стандарта IEC 61131-3 и кроме этого многие системы, функционирующие на платформе

Windows, имеют встроенную поддержку VBScript. Основной целью использования этих языков является уменьшение затрат на: подготовку программистов, создание программ больших размеров, реализацию все более сложных аппаратно-программных систем [3].

Однако фактически с момента появления стандарта отмечались как проблемы человеческого восприятия текстовых (IL, ST) и графических (LD, FBD, SFC) форм [4], так и другие проблемы связанные с кросс-компиляцией из одного формата в другой, не полным соответствие с стандартам графических и текстовых представлений [5]. Дальнейший вектор развития этого стандарта языков был направлен на создание средств разработки распределенных систем, что отражено в стандарте IEC 61499.

С учетом перечисленных выше проблем можно сказать, что современные средства АСУ ТП имеют хорошо развитые средства исполнения и управления технологическими процессами, а также инструментарий для создания программных комплексов под уже существующий ТП производства. Однако, когда речь заходит о компьютеризации инженерной деятельности технолога и о средствах разработки ТП испытаний, то имеющиеся наработки в АСУ ТП не предоставляют готовых решений. Кроме этого, данная проблема попадает в область САПР ТП, где на данный момент основным направлением является автоматизированная разработка ТП механообработки, которая, в свою очередь, получает информацию из САПР. Для сложных технических систем, которые управляются микропроцессорами и имеют электрические интерфейсы, особую важность приобретают информационные свойства, для проверки которых необходимо провести испытания адекватные своей физической природе и со своим ТП, который принципиально отличается от механических операций ТП изготовления и сборки.

Поэтому в тех случаях, когда существуют несколько ТП испытаний, которые могут динамически

изменяться в процесс производства СТС и информативная сложность вынуждает использовать языки высокого уровня, создается ситуация, когда либо технолог должен обладать навыками программирования, либо программист быть технологом, что не может не сказаться отрицательным образом на качестве работы. Компромиссом в этом случае могут послужить средства автоматизации и компьютеризации инженерной деятельности технолога, разрабатывающего (проектирующего) ТП испытаний.

Постановка задачи. Основной целью является автоматизация ТП испытаний подсистемы энергоснабжения КА. Учитывая высокую вариативность требований к ТП испытаний, некоторую неоднозначность по техническим параметрам и высокую степень параллелизма процесса разработки КА и средств его испытаний, было принято решение о разделении программного комплекса на две части: автоматизированной подготовки ТП испытаний и его автоматического исполнения. Для достижения поставленной цели на первом этапе основной задачей становится разработка проблемно-ориентированного языка, который позволил бы формализовать и организовать взаимодействие всех уровней компьютеризации инженерной деятельности технолога, а в конечном итоге легко и просто транслировался в необходимое представление.

Такая формализация, позволит организовать независимую разработку средств взаимодействия всех уровней инженерной деятельности, необходимых как для ручного создания ТП испытания, так и для полностью автоматизированного, начиная от момента создания и заканчивая проведением испытаний независимо от других подсистем.

Результаты исследования

Концепция. Под языком подразумевается средство общения, состоящее из знаковой системы (множества допустимых последовательностей знаков), множества смыслов этой системы и соответст-

вия между последовательностями знаков и смыслами, делающими «осмысленными» допустимые последовательности знаков [6]. В качестве базы для разработки языка можно использовать модель данных, необходимых для реализации ПО автоматизации проведения испытаний. Фактически это минимальная часть языка, которая должна отвечать требованиям реального времени. Для редактирования язык описания ТП уже должен поддерживать дополнительную информацию, необходимую для восприятия человеком. Ниже приводится синтаксис языка, в который добавлены ключевые слова для его адекватного восприятия человеком.

Синтаксис языка. Для создания синтаксиса проблемно-ориентированного языка в первую очередь необходимо создать словарь предметной области и на этой основе выделить множества терминальных и нетерминальных символов.

Таким образом на первом этапе разработки обратимся к формулировке стандарта термина испытания (ГОСТ 16504-81): испытания - это «экспериментальное определение (оценивание и/или контроль) количественных и/или качественных свойств объекта испытаний при его функционировании, при моделировании объекта и/или воздействий». Таким образом, можно определить ключевые понятия для создания языка:

- режимы функционирования объекта испытаний;
- его качественные/количественные свойства;
- управляющие воздействия.

В соответствии с этим можно сказать, что для определения качественных/количественных свойств необходимо выполнить **проверки** в различных **режимах** функционирования и выдать **сообщения** о

ходе и результатах испытаний. Выполнение проверок предполагает, по меньшей мере, следующие действия: сбор информации о текущем состоянии системы, проверка заданного набора условий для оценки ситуации и выдача управляющих воздействий на объект испытаний. Описание технологического процесса испытаний сложной технической системы, регламентирующее последовательность проверок, назовем **сценарием испытаний**. Чтобы составить такое описание необходимо охарактеризовать зависимость внешних управляющих воздействий и информационных сообщений оператору от текущего состояния и предыстории объекта испытания.

Определим формальную грамматику языка. Как известно, формальной грамматикой называется упорядоченная четверка

$$G = \langle V_T, V_N, S, R \rangle,$$

где V_T – алфавит терминальных или основных символов; V_N – алфавит нетерминальных или вспомогательных символов ($V_T \cap V_N = \emptyset$); S – начальный символ или аксиома, $S \in V_N$; R – конечное множество правил или продукций вида $\varphi \rightarrow \psi$, где

$$\varphi \in (V_T \cup V_N)^* V_N (V_T \cup V_N)^*, \psi \in (V_T \cup V_N)^* -$$

различные цепочки, а \rightarrow специальный символ, не принадлежащий $V_T \cup V_N$ и служащий для отделения левой части правила φ от правой ψ . В правилах вывода фигурные скобки «{}» означают произвольное повторение $0 \dots M$, а квадратные «[]» – необязательную часть.

В грамматике языка спецификации ТП испытаний, представленной ниже, алфавит терминальных символов V_T выделен жирным шрифтом, нетерминалы – подчеркиванием и начальный символ $S = \{ \text{Сценарий испытания} \}$.

- $R = \{$
1. $\langle \text{Сценарий испытания} \rangle ::=$ **Испытание** $\langle \text{Имя сценария} \rangle \downarrow$
Режимы $\downarrow \langle \text{Список режимов} \rangle$
Проверки $\downarrow \langle \text{Множество проверок} \rangle$
Сообщения $\downarrow \langle \text{Множество сообщений} \rangle$.
 2. $\langle \text{Список режимов} \rangle ::=$ $\langle \text{Номер режима} \rangle$. **Режим** $\langle \text{Описание режима} \rangle$
 $\{ \langle \text{Номер режима} \rangle$. **Режим** $\langle \text{Описание режима} \rangle \}$

3. <Множество проверок> ::= {**Проверка** ↓ <Описание проверки>}
 4. <Множество сообщений> ::= {**Сообщение** <Имя сообщения> ↓
Текст: <Текст сообщения> ↓
Тип: <Тип сообщения> ↓
Тип в отчете: <Тип сообщения в отчете> ↓
Приоритет: <Уровень приоритета> ↓
Параметры: <Параметр> {, <Параметр>} ↓ }
 5. <Описание режима> ::= <Имя режима> ↓
Инициализация ↓ <Стартовая последовательность>
Состояние проверок ↓ <Изменение состояния проверок>
Переходы ↓ {<Переход>}
 6. <Описание проверки> ::= <Имя проверки> ↓
Действия ↓ <Последовательность действий>
 7. <Стартовая последовательность> ::= {<Действие>}
 8. <Изменение состояния проверок> ::= {**Включить** | **Выключить** <Имя проверки> ↓ }
 9. <Переход> ::= **Переход на** <Имя режима> ↓
Условия ↓ <Набор условий>
{**Условия** ↓ <Набор условий>}
 10. <Последовательность действий> ::= <Действие> | **Реакция** ↓ <Реакция проверки>
{<Действие> | **Реакция** ↓ <Реакция проверки>}
 11. <Действие> ::= **Команда** <Имя команды> ↓
[<Оператор>]
[**Пауза** = <Значение> ↓]
[**Сообщение** <Имя сообщения> ↓]
 12. <Реакция проверки> ::= **Условия** ↓ <Набор условий>
Истинны ↓ <Результат проверки> ↓ [**Сообщение** <Имя сообщения> ↓]
Ложны ↓ <Результат проверки> ↓ [**Сообщение** <Имя сообщения> ↓]
 13. <Результат проверки> ::= <Имя проверки> = <Значение>
 14. <Набор условий> ::= <Условие> ↓ { <Условие> ↓ }
 15. <Оператор> ::= <Параметр> = <Значение>
 16. <Условие> ::= <Параметр> <Отношение> <Значение> | <Параметр> <Отношение> <Параметр>
 17. <Значение> ::= <Целое> | <Вещественное> | <Логическое>
 18. <Текст сообщения> ::= "<Строка>{%S |<Строка>}"
 19. <Параметр> ::= <Операнд> <Имя проверки>
 20. <Номер режима> ::= <Цифра> {<Цифра>}
 21. <Операнд> ::= "<Строка>"
- }

↓ – признак конца строки, %S – признак подстановки значения.

Семантика языка спецификации ТП испытаний. Для полноты описания языка одного синтаксиса недостаточно, поэтому семантику языка спецификации испытаний охарактеризуем алгоритмом, обеспечивающим обработку информации о ТП (рис. 1).

В начале испытаний происходит инициализация программных объектов, отвечающих за режимы работы аппаратуры и алгоритмы ее проверки. После этого происходит распараллеливание: объект, реализующий алгоритм режима работы, по сообщениям из таблицы данных, отслеживает ход испытаний и

управляет аппаратурой, а объекты, выполняющие проверки, накапливают интегральную оценку теку-

щего режима работы аппаратуры или следят за критическими параметрами работы.

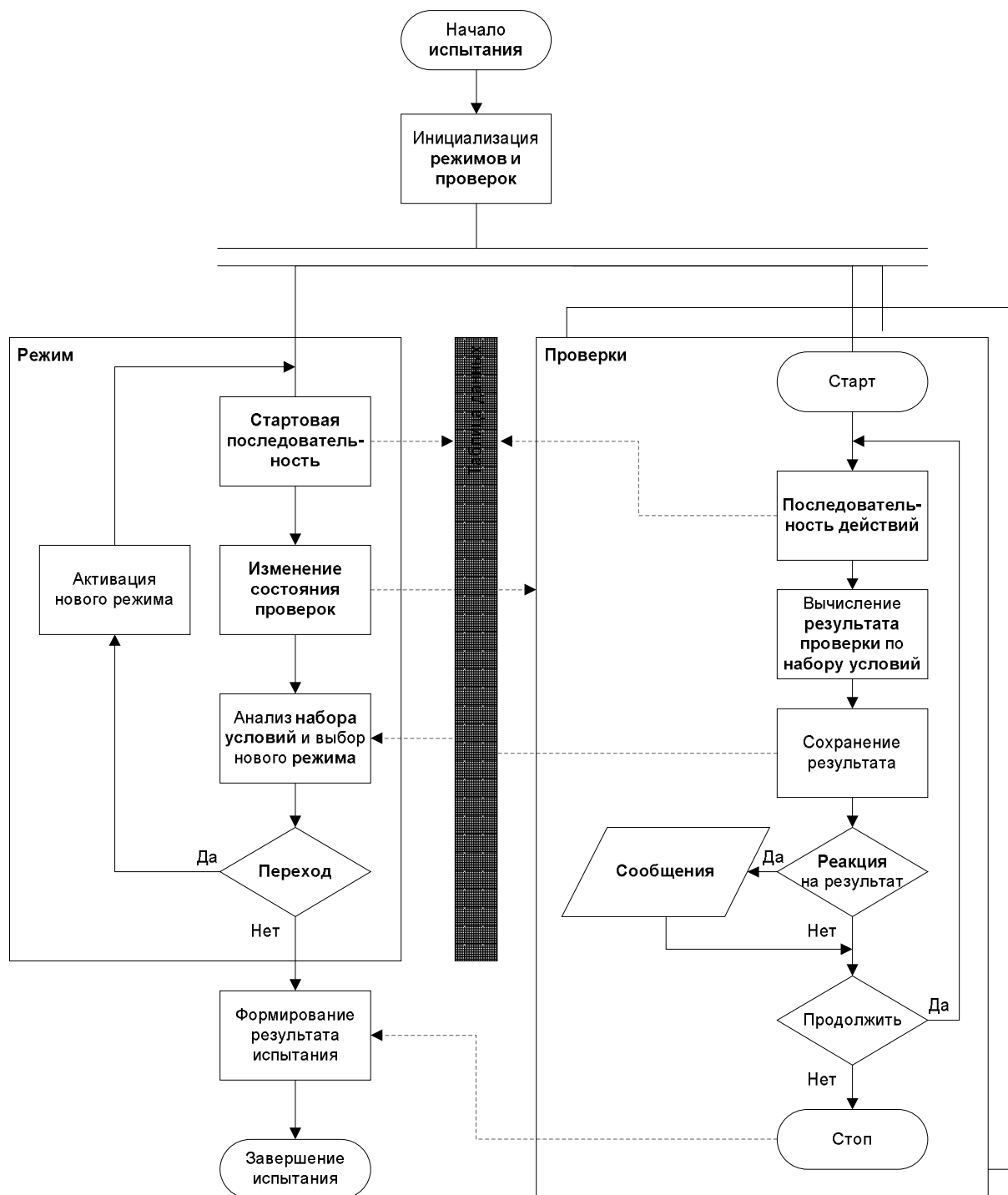


Рис. 1. Алгоритм обработки информации о ТП испытаний

Результаты практического применения

Особенности организации испытаний СЭС КА. При формировании структуры и порядка испытаний СЭС учитывались следующие особенности системы:

– СЭС является композицией физически разнородных составных частей, ряд характеристик которых определяется преимущественно внешними эксплуатационными воздействиями, что позволяет ограничиться испытаниями на эти виды воздействий

только отдельных составных частей без повторения аналогичных испытаний СЭС в целом;

– СЭС в составе КА имеет развитое взаимодействие с другими бортовыми системами, столь тесное, что некоторые виды испытаний потребителей энергии не могут проводиться без участия СЭС, в связи с чем возможно совместить некоторые виды испытаний собственно СЭС с испытаниями других сопряженных с ней систем КА;

– кооперация организаций-изготовителей СЭС включает в себя ряд специализированных предприятий, разнесенных территориально и организационно, так что на головном предприятии производится преимущественно сборка СЭС с дооснащением ее узлами собственной разработки, в связи с чем до этой сборки составные части СЭС должны пройти цикл испытаний, в частности тех, которые затруднительно (иногда и невозможно) либо экономически нецелесообразно проводить на СЭС в собранном виде;

– за время существования практической космонавтики накоплен богатейший статистический материал о поведении СЭС в реальных условиях эксплуатации, который, основываясь на принципах технического подобию, можно полностью или частично распространить и на новые разработки СЭС, в связи с чем часть испытаний СЭС может быть заменена расчетами или математическим моделированием.

Сценарии описания ТП испытаний. Хронологически наземные испытания СЭС выстраиваются в такую последовательность [7]:

а) автономные испытания:

- лабораторные,
- стендовые;

б) комплексные испытания в составе КА:

- стендовые,
- производственные,
- полигонные.

Для экспериментальной отработки КА Egyptsat (разработки ГKB «Южное», г. Днепропетровск) перечисленные виды испытаний потребовали разработать, а затем и практически проверить следующие основные ТП:

– проверки функционирования ПСЭС, обеспечивающем полную проверку исправности аппаратуры регулирования, оценку основных характеристик системы. Данный ТП оказался наиболее сложным, поскольку в ходе его выполнения автоматически реализуется около 5 000 элементарных действий в виде команд управления и сообщений оператору;

– глубокого разряда батареи химической, предназначенного для подготовки ее к хранению и оценки остаточной емкости;

– проверки совместного функционирования устройства нивелирования заряженности аккумуляторов и батареи химической;

– проверки отсутствия нагрузки, то есть отсутствия несанкционированных потребителей электроэнергии – бортовых систем;

– циклирования, в процессе которого проводится имитация работы системы в условиях циклического поступления энергии на освещенных участках орбиты и энергообеспечения потребителей по заданной программе. Данный ТП используется для оценки электроэнергетических характеристик системы;

– «ручного» управления, в процессе которого система выводится на безопасный режим, затем управление передается оператору с автоматическим контролем безопасности и последующим корректным приведением системы в исходное состояние;

– работы в комплексной схеме в составе КА. ТП похож на предыдущий, только вместо взаимодействия с оператором производится автоматическая отработка команд бортового цифрового вычислительного комплекса.

На рис. 2 в качестве примера приведена мнемосхема, характеризующая ход автоматического выполнения ТП, так как ее видит оператор.

Такое решение позволило эффективно выполнять как сами проверки системы, так и решать задачи технологического и исследовательского характера.

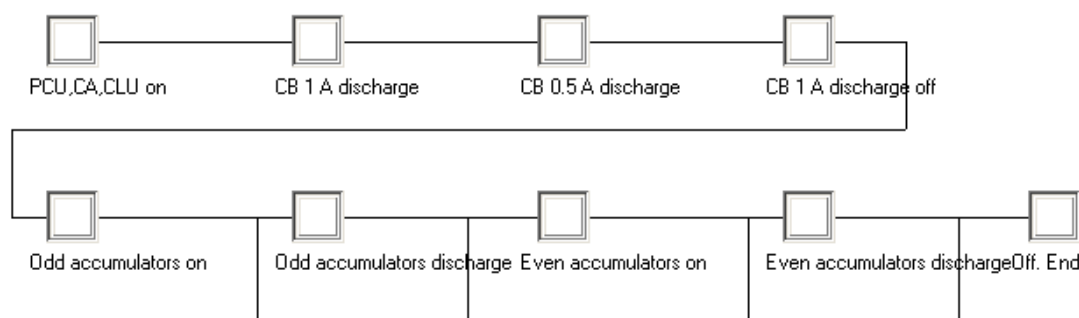


Рис. 2. Сценарий глубокого разряда: □ – режим, текущий режим выделяется; соединительные линии – переходы

Выводы

В результате проведенных работ была получена КС-грамматика для языка ТП испытаний, что позволило разделить программные средства проведения испытаний на две независимые подсистемы – программу отработки испытаний и программу редактирования сценариев испытаний.

Такое разделение позволяет эффективно решать вопросы по модификации испытаний без изменений программного кода, и в конечном итоге способствует качеству проведения испытаний и экспериментальной отработки.

Литература

1. Особенности проектирования систем технологической подготовки производства / А.А. Калинин, В.Ф. Митин, В.Д. Костюков, А.В. Митряев // РКЗ ГКНПЦ им. М.В.Хруничева. – 2002. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ihst.ru/personal/akm/section11\(2002\).htm](http://www.ihst.ru/personal/akm/section11(2002).htm).
2. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика или Путь к Миру открытых систем. – СПб.: СПбГТУ, 1999. – 123 с.

3. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools / Karl-Heinz John, Michael Tiegelskamp / Springer, 2001.

4. К пятилетию стандарта IEC 1131-3. Итоги и прогнозы. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iae.nsk.su/~zyubin>.

5. WinSPS. Programming according to IEC 61131-3. Software Manual by Bosch Rexroth AG, Erbach / Germany.

6. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженера / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 261 с.

7. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование / К.В. Безручко, Н.В. Белан, Д.Г. Белов, С.В. Губин, В.И. Драновский, В.С. Кривцов, И.Т. Перекопский, И.Б. Туркин. – Х.: ГАУ «ХАИ», 2000. – 516 с.

Поступила в редакцию 10.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Чумаченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.