

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

П. А. Степанов<sup>а</sup>, старший преподаватель

М. Ю. Охтилев<sup>а</sup>, доктор техн. наук, профессор

Б. В. Соколов<sup>а</sup>, доктор техн. наук, профессор

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

**Постановка проблемы:** одной из проблем оценивания технического состояния сложных организационно-технических объектов является отсутствие единой методологии оценивания и управления их состоянием. Частью решения этой проблемы является создание единой модели представления знаний об оцениваемом объекте и его визуальном представлении на мнемосхеме. **Цель исследования:** объединение представления знаний о поведении оцениваемого объекта и представления этого объекта во время оценивания технического состояния в единую модель. **Результаты:** разработана адаптированная вычислительная модель, описывающая диаграммы. На основе этой модели предложен способ описания мнемосхем, используемых при оценивании технического состояния объекта. Реализован прототип программного средства, генерирующего визуальное представление мнемосхем по их вычислительным моделям. Показано, что адаптированная вычислительная модель может описывать как эталонное поведение объекта, так и мнемосхему, которая его представляет в процессе оценивания технического состояния. **Практическая значимость:** разработанный на основе адаптированной вычислительной модели прототип программного средства позволяет упростить создание визуальных средств, используемых для оценивания технического состояния сложных организационно-технических объектов.

**Ключевые слова** — вычислительная модель, визуальный язык, мнемосхема, контроль технического состояния.

### Введение

Эксплуатация и обслуживание объектов ракетно-космической техники всегда были и остаются проблемными в силу их сложности и высокой стоимости принимаемых при этом решений. В большой степени это связано с оцениванием состояний (технических состояний — ТС) и выработкой управляющих воздействий (разовых команд, временных программ). Решения такого типа принимаются экспертом, специалистом в соответствующей предметной области, на основании результатов обработки измерительной информации (телеметрической, баллистико-навигационной, командно-программной и пр.).

Проведенные исследования показывают [1], что одной из ключевых проблем при этом является отсутствие универсальных технологий и методологий для оценивания и управления состоянием объектов ракетно-космической техники как сложных организационно-технических систем. В частности, для моделирования поведения такого объекта могут использоваться разнообразные полимодельные комплексы, в то время как разработка графических систем визуализации как средств обеспечения взаимодействия с лицом, принимающим решения, является самостоятельной инженерной задачей. Кроме того, известно, что доля затрат на разработку и сопровождение программного обеспечения подобных систем поддержки принятия решений [2, 3] неуклонно

возрастает и может составлять от 60 до 90 % стоимости всей системы [4]. Таким образом, с учетом всего вышесказанного существует актуальная задача описания объекта контроля и визуализации его состояния с помощью единой математической модели.

### Применение вычислительных моделей к визуализации мнемосхем

Необходимо отметить, что, во-первых, для визуализации ТС объекта в процессе контроля обычно используются мнемосхемы — специальные диаграммы, схематически представляющие узлы и агрегаты контролируемого объекта. Такие диаграммы могут трактоваться как изображение на визуальном языке, имеющем синтаксис и семантику. Попытки создать универсальные подходы к разработке мнемосхем уже предпринимались вне контекста объединения эталонного поведения оцениваемого объекта и его графического представления в единую модель [5, 6]. Во-вторых, подходящим способом моделирования поведения контролируемого объекта в условиях неполной и (или) недостоверной измерительной информации является вычислительная модель (ВМ) [7]. ВМ нашли свое применение в концептуальном программировании и технологиях недоопределенных моделей; они широко используются в задачах конструирования программного обеспечения [8, 9]; кроме того, подобные модели

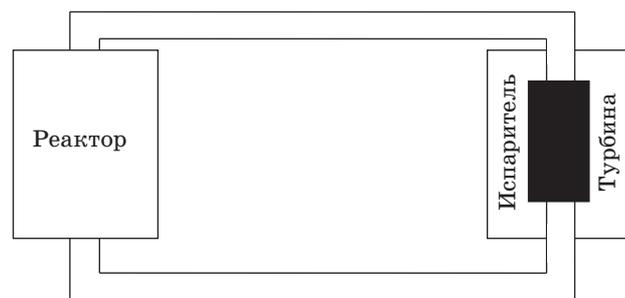
представления знаний занимают прочные позиции при выполнении оценивания ТС объектов ракетно-космической техники [10, 11]. Таким образом, предложив способ визуализации состояния объекта средствами ВМ, можно добиться создания единой методологии для представления знаний об объекте и программного средства для оценивания ТС этого объекта.

В связи с этим, предложив способ описания мнемосхемы средствами ВМ, можно объединить знания об оцениваемом объекте и визуализацию этих знаний в единую модель. Ниже представлена основная идея описания мнемосхем в составе графического пользовательского интерфейса в системах поддержки принятия решений при оценивании ТС объектов ракетно-космической техники.

Рассмотрим пару  $a = \{n, w\}$ . Назовем ее атрибутом, где  $n$  — имя атрибута, а  $w$  — значение атрибута (если задано). Введем понятие визуального примитива  $v = \{A, fg(A)\}$ , где  $A$  — множество атрибутов примитива, а  $fg(A)$  — функция, преобразующая значения атрибутов в изображение. Расширив оригинальную ВМ понятием визуального примитива, можно перейти к ВМ, описывающей диаграмму.

Назовем диаграммой множество  $D = \{A, G, V, R\}$ , в котором  $A$  — множество атрибутов,  $G$  — алгебраическая система, заданная на атрибутах,  $V$  — множество визуальных примитивов такое, что принадлежащие им атрибуты  $A_v$  являются подмножеством  $A$ , и  $R$  — множество отношений, заданное на атрибутах. При этом правила  $R$  формулируются в виде предикат/соотношение, где предикат представляет условие, при котором можно выполнить соотношение. Таким образом, диаграмма представляет собой расширенную ВМ, обладающую графическим интерфейсом.

Рассмотрим пример. На рисунке изображен фрагмент мнемосхемы тракта наддува топливных баков ракеты «Союз-2», представляющий реактор, соединенный трубопроводом с турбиной.



■ Фрагмент мнемосхемы тракта наддува топливных баков  
 ■ Snippet of mnemonic scheme of fuel tanks pressurization circuit

Изображение состоит из четырех сущностей: реактора, турбины и двух трубопроводов, — которые образуют множество визуальных примитивов  $V$ . Предполагая, что каждый из примитивов имеет в качестве атрибутов свои координаты и размеры, можно установить соотношения, ставящие в соответствие координаты всех четырех сущностей так, чтобы при перемещении одной перемещались либо меняли размер другие. Для передачи значений измеряемых параметров могут использоваться атрибуты, связанные с текстовыми полями; одновременно атрибут «цвет» сущности может использоваться для индикации того, что состояние узла или агрегата соответствует или не соответствует расчетному состоянию. Отметим, что представленные на диаграмме сущности сами могут быть описаны ВМ, построенными с использованием более мелких графических примитивов.

### Преимущества и недостатки применения вычислительных моделей для представления диаграмм

Использование ВМ для описания визуальной части модели обладает рядом преимуществ:

- 1) знания об объекте и знания о его изображении описываются единой моделью; специалисты, проводящие контроль ТС, должны изучить только одну модель;
- 2) реализация интегральных оценочных характеристик модели естественным образом может быть получена из индивидуальных оценочных характеристик;
- 3) модель сопрягается с источником, содержащим измерительную информацию контролируемого объекта, путем отображения этой информации в атрибуты модели.

Тем не менее вышеописанный подход выявляет ряд специфических проблем. Во-первых, оригинальная ВМ нестационарна, т. е. предполагает возможность недетерминированных вычислений. Нестационарные модели не могут взаимодействовать с человеком (с точки зрения удобства использования), поэтому модель должна быть приведена к детерминированному виду, для чего могут использоваться алгоритмы, аналогичные алгоритмам для приведения к детерминированному виду конечных автоматов.

Во-вторых, описание диаграммы является неполным без описания ее пользовательского интерфейса (диалоговых окон, реакции на клавиатуру и мышь и пр.). Ввиду отсутствия в ВМ механизма организации интерфейса пользователя этот механизм должен быть построен средствами традиционного программирования, при этом взаимодействие между таким внешним интерфейсом и ВМ должно осуществляться по тем же

принципам, что и взаимодействие с источником измерительной информации, т. е. через значения атрибутов модели.

### Заключение

Представленная модель была реализована в виде макета универсального программного сред-

ства, принимающего на вход спецификации мнемосхем и генерирующего на их основе графические представления [12]. В рамках данного макета была реализована мнемосхема одной из подсистем ракеты-носителя «Союз-2» — тракта наддува топливных баков. В рамках дальнейшей работы предполагается расширение набора моделей.

### Литература

1. Зеленцов В. А., Ковалев А. П., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Методология создания и применения интеллектуальных информационных технологий наземно-космического мониторинга сложных объектов // Тр. СПИИРАН. 2013. № 5(28). С. 7–81. doi:10.15622/sp.28.1
2. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
3. Sokolov B., Yusupov R., Okhtilev M., Maydanovich O. Influence Analysis of Information Technologies on Progress in Control Systems for Complex Objects // New Trends in Information Technologies: Proc. of Intern. Conf. Information–Interaction–Intellect (iii2010), Varna, Bulgaria, June 23–27, 2010. P. 78–91.
4. Майданович О. В., Охтилев М. Ю., Кузусль Н. Н., Соколов Б. В., Цивирко Е. Г., Юсупов Р. М. Междисциплинарный подход к оцениванию и анализу эффективности информационных технологий и систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 11. С. 7–16.
5. Бильфельд Н. В., Ерыпалова М. Н. Разработка технологических мнемосхем на языках высокого уровня // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2015. № 3–4. С. 5–10.
6. Сергеев Д. А., Ковин Р. В. Универсальная векторная графическая компонента для работы с мнемосхемами технологических процессов // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 9–13 ноября 2015 г.: в 2 т./ Национальный исследовательский Томский политехнический университет; Институт кибернетики; под ред. Т. Е. Мамоновой. Томск, 2016. Т. 2. С. 103–104.
7. Тыгу Э. Х. Концептуальное программирование. — М.: Наука, 1984. — 255 с.
8. Сарычев В. Г. Разработка программного комплекса автоматизированного конструирования алгоритмов и программ на основе вычислительных моделей// Наука, технологии, инновации: тр. конф., Новосибирск, 1–5 декабря 2015 г. Новосибирск, 2015. С. 111–112.
9. Феоктистов А. Г., Горский С. А. Язык спецификации вычислительных моделей в масштабируемых пакетах прикладных программ //Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7-1. С. 84–88.
10. Шмелев В. В. Модели технологических процессов функционирования космических средств //Авиа-космическое приборостроение. 2015. № 4. С. 78–93.
11. Шмелев В. В., Самойлов Е. Б., Нездоровин Н. В. Распространение свойств сети Петри на вычислительную модель анализа результатов телеизмерений // Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 6. С. 88–89.
12. Степанов П. А., Охтилев М. Ю. Применение вычислительных моделей для создания редактора диаграмм // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 11. С. 939–942. doi:10.17586/0021-3454-2016-59-11-939-943

UDC 004.94

doi:10.15217/issn1684-8853.2017.6.132

### Visualization of Technical Status of Complex Objects using Computational Models

Stepanov P. A.<sup>a</sup>, Senior Lecturer, pavel@stepanoff.info

Okhtilev M. Yu.<sup>a</sup>, Dr. Sc., Tech., Professor, oxt@mail.ru

Sokolov B. V.<sup>a</sup>, Dr. Sc., Tech., Professor, sokol@iias.spb.su

<sup>a</sup>Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Introduction:** One of the problems in evaluating technical status of complex organizational and technical objects is the absence of a single methodology for the evaluation and status control. A part of solving this problem could be the development of a unified model to represent the knowledge about the evaluated object and its visual representation on a mnemonic scheme. **Purpose:** Unifying the representation of knowledge regarding the evaluated object and its visual representation in a single model. **Results:** An adapted computational model is developed which describes diagrams. On the base of this model, we proposed a way to define mnemonic schemes

used during an object technical status evaluation. A software prototype is implemented, generating visual representation of mnemonic schemes by their computational models. It has been demonstrated that the adapted computational model can describe both the predicted behavior of an object and the mnemonic scheme which represents it during the technical status evaluation. **Practical relevance:** The developed software prototype based on the adapted computational model can facilitate the development of visual tools used for the evaluation of technical status of complex organizational and technical objects.

**Keywords** — Computational Model, Visual Language, Mnemonic Scheme, Technical Status Evaluation.

## References

1. Zelentsov V. A., Kovalev A. P., Okhtilev M. Y., Sokolov B. V., Yusupov R. M. Creation and Application Methodology of the Intelligent Information Technology of Complexity Objects Space and Ground Based Monitoring. *Trudy SPIIRAN* [SPIIRAS Proceedings], 2013, no. 5(28), pp. 7–81 (In Russian). doi:10.15622/sp.28.1
2. Okhtilev M. Yu., Sokolov B. V., Yusupov R. M. *Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniia strukturnoi dinamiki slozhnykh tekhnicheskikh ob'ektov* [Intellectual Technologies of Monitoring and Controlling Structured Dynamics of Complex Technical Objects]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 410 p. (In Russian).
3. Sokolov B. V., Yusupov R. M., Okhtilev M. Yu., Maydanovich O. V. Influence Analysis of Information Technologies on Progress in Control Systems for Complex Objects. *Proc. of Intern. Conf. Information-Interaction-Intellect (iii2010) "New Trends in Information Technologies"*, Varna, Bulgaria, June 23–27, 2010, pp. 78–91.
4. Maydanovich O. V., Okhtilev M. Yu., Kussul N. N., Sokolov B. V. Interdisciplinary Approach to Estimation and Analysis of Information Technologies and Systems Efficiency. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2010, vol. 53, no. 11, pp. 7–16 (In Russian).
5. Bilfeld N. V., Eripalova M. N. Development of Technological Mnemonic Schemes in High-Level Programming Languages. *Novyi universitet. Tekhnicheskie nauki* [New University. Technical Sciences], 2015, no. 3–4, pp. 5–10 (In Russian). doi:10.15350/2221-9552.2015.3-4
6. Sergeev D. A., Kovin R. V. Universal Vector Graphic Component for Work with Mnemonic Schemes of Technical Processes. *Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii"* [Proc. of XIII Intern. Science and Practical Conf. of Students, Post-Graduate Students and Young Scientists "Youth and Modern Information Technology" (YMIT)], Tomsk, 9–13 November, 2015. Tomsk, 2016, vol. 2, pp. 103–104 (In Russian).
7. Tyugu T. H. *Kontseptual'noe programmirovaniye* [Concept Programming]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 255 p. (In Russian).
8. Saryichev V. G. Development of Software Package for Automated Design of Algorithms and Programs Based on Computational Models. *Trudy konferentsii "Nauka, tekhnologii, innovatsii"* [Proc. of Conf. "Science, Technologies, Innovations"], Novosibirsk, December 1–5, 2015, pp. 111–112 (In Russian).
9. Feoktistov A. G., Gorsky S. A. Specification Language of Computational Models in Scalable Applied Software Packages. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies], 2016, no. 7-1, pp. 84–88 (In Russian).
10. Shmelev V. V. Process Models of Functioning of Space Assets. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrument-Making], 2015, no. 4, pp. 78–93 (In Russian).
11. Shmelev V. V., Samoylov E. B., Nezdorovin N. V. Expansion of Properties of Petri Nets to Computational Models of Result Analysis. *T-COMM: Telekommunikatsii i transport* [T-COMM: Telecommunications and Transport], 2013, vol. 7, no. 6, pp. 88–89 (In Russian).
12. Stepanov P. A., Okhtilev M. Yu. Application of Computational Models to Development of Diagram Editor. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2016, vol. 59, no. 11, pp. 939–942 (In Russian). doi:10.17586/0021-3454-2016-59-11-939-943