

А.С. ГЕЙДА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ РАСШИРЕНИЙ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Geida A.S. Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов.

Аннотация. Показана практическая необходимость расширения теории графов, в частности — для моделирования и исследования технических систем. Введено понятие «эш-граф», расширяющее понятие граф и, таким образом, расширяющее теорию графов. Приведены примеры использования эшграфа при моделировании ТС.

Ключевые слова: Техническая система, граф, теория графов, эшграф, теория эшграфов, моделирование, исследование технических систем, эффективность, потенциал, риск.

Geida A.S. The modeling in the course of technical systems investigation: some expansions of the graph theory usage.

Abstract. Practical necessity of the graph theory expansion is shown, in particular — for the modeling and technical systems investigation. Eshgraph term is suggested. It expands “graph” term. Thus it expands graph theory. Examples of the eshgraph and geometric eshgraph usage are presented.

Keywords: Technical system, graph, graph theory, eshgraph, eshgraph theory, modeling, technical system research, quantitative efficiency assessment, quantitative capabilities assessment.

1. Введение. Теория графов широко используется при исследовании технических систем [1-6,12]. Это обусловлено, по крайней мере, двумя особенностями графа. Во-первых, граф — математическое понятие, которое может быть использовано при разработке математической модели технической системы (ТС) [16,38,16]. Во-вторых, геометрический образ графа (геометрический граф) [2] — позволяет облегчить понимание соответствующей алгебраической модели ТС и при этом лаконично описать элементы ТС и отношения между ними (например, действия, в которых участвуют соответствующие элементы ТС) [5–13].

Развитие ТС, связанных, например, с реализацией инфо-, нано- и телекоммуникационных технологий, в настоящее время привело к появлению новых задач их исследования: задач анализа ТС [5,6] и задач проектирования (синтеза) ТС [22,21]. Это требует развития научных средств (моделей, методов, алгоритмов, программных комплексов) описания морфологических и функциональных особенностей современных и будущих ТС, процессов их функционирования (алгоритмов, планов, программ).

В статье вводится новое понятие – «эшграф», которое является расширением понятия [18] граф [2], что, в итоге, порождает расширение теории графов [16,19,20,23,24,25]. Это расширение, как надеется автор статьи, позволит облегчить моделирование ТС, постановку задач исследования ТС и их решение. Ожидаемая польза, приносимая на этапе моделирования ТС применением эшграфов (в том числе — их геометрических образов — «геометрических эшграфов») вместо обычных графов (геометрических графов [2]), связана с некоторым упрощением моделей ТС и/или уменьшением их количества (в полимодельном комплексе [27,28]). Это, возможное, упрощение проиллюстрировано примером графовой и эшграфовой геометрических моделей, показанных на рис. 1.

Хотя смысл понятия «эшграф» будет уточнен ниже, в основной части статьи, рисунок уже позволяет сделать внесенное упрощение очевидным. На рис. 1 показана модель совокупности технических элементов с их характеристиками (и связей между ними), из которых может быть собрано техническое устройство, например персональный компьютер (ПК), одной из возможных конфигураций. Эта модель используется конфигуратором ПК [41] для сборки ПК с выбранным процессором типа А на материнских платах типа В или С. При этом для материнской платы типа В допустимы следующие варианты установки планок микросхем памяти: две планки типа D) по 8 Гб (количество планок на складе — 121), или две планки типа Е по 4 Гб (количество планок на складе — 210) по 4 Гб, или четыре планки типа Е; для материнской платы типа С допустимы те же варианты установки планок памяти, что и для материнской платы типа В, за исключением планок типа D.

На рис. 1, а показана модель, записанная с помощью геометрического эшграфа. На рис. 1, б показана модель, записанная с помощью геометрического графа и двух связанных с ним таблиц. Как видно, одна эшграфовая модель «замещает» четыре модели: одну графовую, две табличные и модель связей между ними.

Другие примеры использования эшграфа при исследовании функционирования ТС и их эффективности приведены в работах [6,5, 13,32,40,42,34], при исследовании потенциала ТС — в работах [10,9,11], при исследовании риска — в работах [8,22,21].

Отметим, что ряд других способов расширения теории графов разрабатывается зарубежными и отечественными учеными. За рубежом активно развиваются и используются для решения практически важных задач в области вычислительной техники теория ориентиро-

ванных гиперграфов [38], метаграфов [32], иерархических графов и диаграмм разного вида [33,37,34,42]. Рядом ученых направления концептуального проектирования [20] признается перспективность расширения предмета теории графов с использованием математических структур Н. Бурбаки.

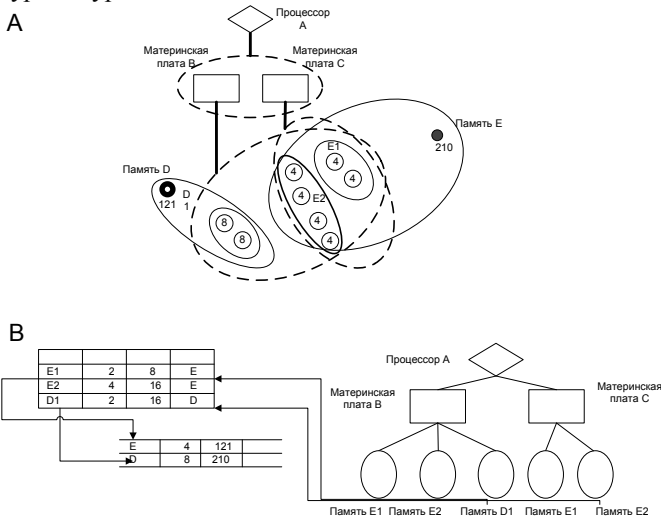


Рис. 1, а,б. Модель порождения допустимых конфигураций ПК

Ряд способов расширения теории графов для решения задач в технических системах предложен отечественными учеными школы профессоров В.Н. Калинина и Б.А. Резникова [19,23,25]. Например, в работах А.В. Петрошенко [23,24,25] дается указание на возможность порождения понятия «суперграф» в результате перехода, который «базируется на многоуровневом обобщении классических понятий множества, отношения и графа, осуществляемом по следующей схеме: граф – гиперграф (ГГ) – обобщенный гиперграф (ОГГ) – суперграф (СГ)».

В данной статье вводится понятие «эшграф» и рассматриваются примеры его использования при моделировании и исследовании ТС.

2. Понятие «эшграф»: определение и примеры использования при моделировании технических систем. Название «эшграф» образовано от фр. слова *echelon*, которым Н. Бурбаки обозначает «ступень над базисными множествами» [3]. Определим понятие эшграф.

Эшграфом E над базисным множеством Ξ_n будем называть пару (Ξ_n, A) , в которой:

$$\Xi_n \equiv \xi_1, \dots, \xi_n, \quad n \in \overline{1, N};$$

$\xi_i - i$ – е базисное множество объектов, $1 \leq i \leq n$;

A – множество объектов, называемое ступенью над базисным множеством Ξ_n , определяемое следующим образом:

$$A \equiv s_1 \circ s_1 \circ \dots \circ s_r(\Xi_n),$$

где \circ – знак суперпозиции отображений,

$s_i - i$ – е отображение множества объектов, $i \in \overline{1, r}$, $r \geq 1$:

$$s_i \in \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\},$$

f_1 – отображение, порождающее декартов квадрат множества;

f_2 – отображение, порождающее булеан множества;

f_3 – отображение, порождающее объединение элементов множества;

f_4 – отображение, порождающее пересечение элементов множества;

f_5 – отображение, порождающее подмножество множества элементов.

На рис. 2 приведен пример эшграфа.

В этом примере: $n = 1$; $\xi_1 = \{v_1, v_2, \dots, v_{11}\}$;

$v_i - i$ – я вершина графа, $i \in \overline{1, 11}$;

$\Xi_1 = \{\xi_1\}$; $A = f_5 \circ f_2 \circ f_1(\Xi_1) = \{a_1, a_2, a_3\}$, где

$$a_1 = \{(v_1, v_3), (v_2, v_4)\}, a_2 = \{(v_3, v_5), (v_4, v_6), (v_4, v_7)\},$$

$$a_3 = \{(v_5, v_8), (v_6, v_9), (v_7, v_{11})\}.$$

Часто при реализации алгоритмов на графах для решения тех или иных задач используются операции с пометками графов (например, числовыми) [6,11].

Пометки элементов и частей эшграфов могут быть формально представлены, как отображение множества элементов эшграфа на множество пометок. Пометки эшграфов могут иметь любой вид, в том числе – вид эшграфов. Использование числовых пометок на эшграфах при описании алгоритмов позволяет, в частности, рассчитывать значение показателей исследуемых свойств моделируемой ТС.

3. Примеры визуализации и использования эшграфов. На схеме (рис. 3) показан пример визуализации фрагмента эшграфа, используемого для расчета эффектов комплекса работ проекта, реализуемых

при функционировании ТС. Он строится на основе сети работ (сеть показана в верхней части рисунка).

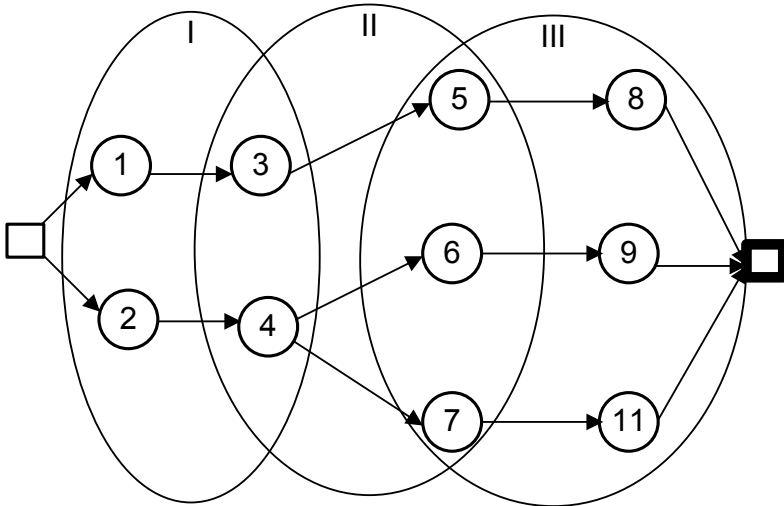


Рис. 2. Пример геометрического эшграфа $E \equiv (\Xi_1, A)$

Каждой работе соответствует бинарное дерево событий, ветви которого задают сценарии реализации работы – последовательности событий, которые могут произойти при реализации этой работы. На рисунке показано в развернутом виде дерево событий для четвертой работы, остальные деревья событий свернуты. С элементами эшграфа ассоциированы характеристики ТС, которые отображаются с использованием таблиц. Для хранения эшграфа необходимо разработать соответствующую структуру данных. Пример такой структуры данных приведен ниже. В примере используется представление эшграфа, как совокупности «элементов». Элемент – множество с известной структурой. Структура элемента определяется рекурсивно, до тех пор, пока элемент не будет описываться с использованием предопределенных типов данных.

```
//представление эшграфа структурированным текстом
Ech1: Echgraph {
Elem1: Elem P{Elem3, Elem4, Elem5}
Elem2: Elem <Elem1-> Elem6->Elem7->Elem8>
Elem3: Integer [1,356]; Elem4: Integer[1,100];
Elem5: Char [A;Z]; Elem6: Real [0,1];
Elem7: Real [0,1]; Elem8: Real [0,1]; }
```

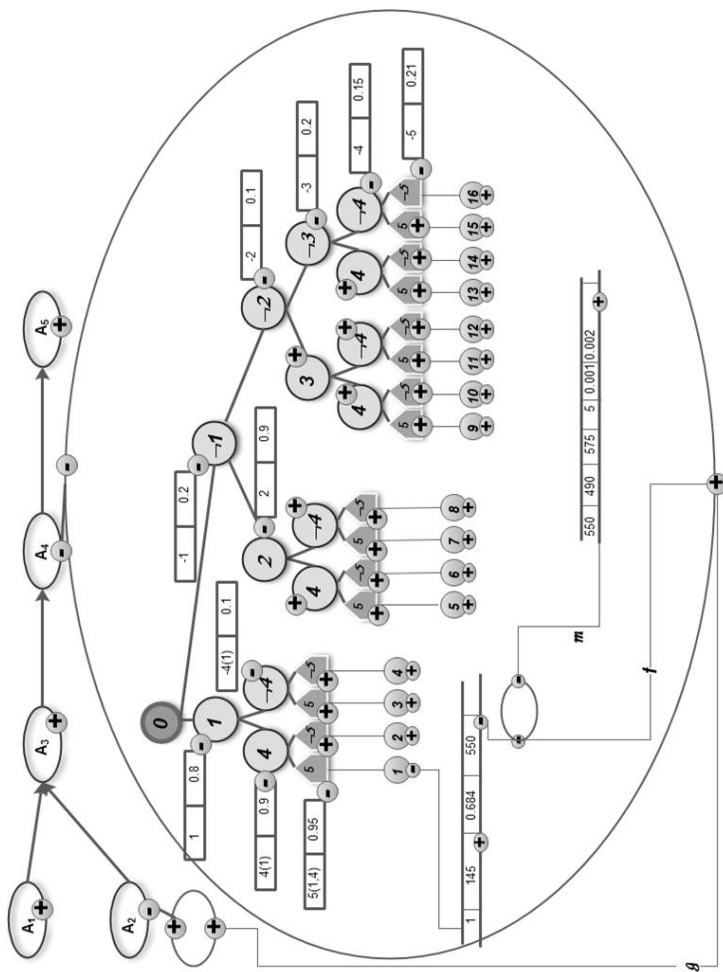


Рис. 3. Пример диаграммного представления фрагмента эшграфа с табличным представлениями его частей

3. Заключение. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование эшграфов может несколько упростить постановку и решение задач моделирования ТС и исследование их функционирования.

Перспективным представляется применение эшграфов не только в технике, но и при исследовании социально-экономических систем, при решении задач исследования потенциала систем, эффективности их функционирования в условиях неопределенности и риска [9,10,5].

Предложенное расширение теории графов предполагает дальнейшие исследования способов его применения в приложениях, что, возможно, приведет к возникновению теории эшграфов, как расширения теории графов.

Литература

1. *Белоусов А.И., Пастуховский А.В.* Ориентированные гиперграфы и системы подстановок//Фундамент. и прикл. матем. 1996. № 2, Вып. 4. С. 1163–1186.
2. *Берж К.* Теория графов и её применения. Пер. с фр. М., Иностранная литература, 1962. 319 с.
3. *Бурбаки Н.* Часть 1. Основные структуры анализа. Книга 1. Теория множеств. М., Мир. 1965. 456 С.
4. *Гейда А.С., Лысенко И. В., Юсупова О.А.* Использование расширенных графовых моделей при автоматизации решения задач исследования потенциала, эффективности и риска при функционировании социально-экономических систем // Доклады международной научно-технической конференции "Региональная информатика-2010". СПб, 2011. С. 47–59.
5. *Гейда А.С.* Метод сквозного использования универсальных языков моделирования в задачах стратегического аудита проектов. В книге: Новое в государственном управлении. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения системного аудита использования национальных ресурсов и управления по результатам / Под ред. А.А. Пискунова. Ростов-на-Дону: ЮРИФКА, 2007. С. 98–116.
6. *Гейда А.С.* Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации // Труды СПИИРАН. СПб. Наука, 2009. Вып. 11. С. 63–80.
7. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Алгоритм оценивания качества обслуживания технической системы // Известия ВУЗов. Приборостроение. СПб. 1992. № 3–4, С. 3–8.
8. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Базовые модели оценки системных рисков на примере показателей финансово-кредитной сферы//Роль ключевых национальных показателей в оценке стратегий развития: коллективная монография / [Е.И. Иванова и др.]; [отв. ред. Е.И. Иванова] Гос. НИИ СП РФ. М.: Воентехиниздат, 2010. 216 с.
9. *Гейда А.С., Лысенко И.В.* Задачи исследования потенциала социально-экономических систем // Труды СПИИРАН. 2009. Вып. 10. СПб, Наука, 2009. С. 63–84.
10. *Гейда А.С., Лысенко И.В., Нехорошкин Н.И, Трemasов А.Д.* Оценивание социально-экономических потенциалов для аудита отраслевых и региональных стратегий развития // Гос. аудит. Право. Экономика. 2010. № 5, С. 47–55
11. *Гейда А.С., Лысенко И.В., Силла Е.П.* Задачи исследования качества и потенциала систем реализации целевых программ // Информационно-управляющие системы. 2011. № 4. С. 77–83.

12. Гранкин Б.К., Козлов В.В., Лысенко И.В. Принципы декомпозиции сложных объектов в проектных исследованиях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 6. С. 2–6.
13. Гранкин Б.К., Козлов В.В., Лысенко И.В., Петров Г.Д. Метод контроля технического состояния уникальных механических объектов при длительной их эксплуатации//Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 3. С. 20–24.
14. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. М.: Наука, 1990. 384 С.
15. Захаров В.К., Михалев А.В. О концепции математической системы// Фундамент. и прикл. матем. 1998. № 4, вып. 3. С. 927–935.
16. Зыков А.А. Гиперграфы. // Успехи матем. Наук. 1974. №6. С. 89–154.
17. Иващенко А.В., Карсаев О.В., Скобелев П.О., Царев А.В., Юсупов Р.М. Мультиагентные технологии для разработки сетевых систем управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №116, Вып.3. С. 12–23.
18. Кант И. Трактаты. С.-Пб., Наука, 1996. 552 С.
19. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). Л., 1978. 417 с.
20. Кононенко А.А., Кучкаров З.А., Никаноров С.П., Никитина Н.К. Технология концептуального проектирования-2004. М.: Концепт, 2008. 580 С.
21. Лысенко И.В., Птушкин А.И., Соколов Б.В. Синтез комплекта ЗИП сложных технических объектов с позиций головного разработчика // Вестник университета ЮФУ. Технические науки. 2001. № 104, вып. 3. С. 149–153.
22. Лысенко И.В. Оценка качества технологических процессов: использование аппроксимирующих вероятностных моделей // Труды СПИИРАН. 2006. № 3, вып. 2., С. 207–216.
23. Петрошенко А.В. Структурно-математический анализ гиперсетевых моделей представления знаний // Проблемы автоматизированного управления космическими средствами. СПб., 2001. С. 29–31.
24. Петрошенко А.В., Петрошенко В.В. Некоторые обобщения в теории множеств, отношений и графов и их применение в современных информационных технологиях // Региональная информатика – 2000. СПб., 2001. С. 32.
25. Петрошенко А.В., Петрошенко В.В. Структурно-математический анализ и синтез гиперсетевых моделей представления знаний //Региональная информатика – 2000. 2001, СПб., С. 32.
26. Пономарёв И.Н. Введение в математическую логику и роды структур. М.: МФТИ, 2007. 241 с.
27. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Полимодельное описание и анализ структурной динамики систем управления космическими средствами // Труды СПИИРАН. 2010. № 15., вып. 1. С. 7–53.
28. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные и методические основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Труды СПИИРАН. 2004. № 2, вып.1. С. 10–35.
29. Yang H. Advances in UML and XML-based software evolution. Idea Group Publishing. Hershey, PA., 2005, 362 p.
30. Geida A.S., Lysenko I.V. Varying the availability of engineering system in the course of its maintenance // Engineering Simulation. 1993. Vol. 11, no. 2. Pp. 317–323.
31. Poulouvassilis A., Hild S.G. Hyperlog: A Graph-Based System for Database Browsing, Querying, and Update // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2001. Vol. 13, No. 2. Pp. 316–332.

32. *Basu A., Blanning R.W.* Metagraphs and Their Applications // Integrated Series in Information Systems, Springer, 2007, Vol. 15. No. VIII. 172 p.
33. *Iordanov B.* HyperGraphDB: A Generalized Graph Database // Web-Age Information Management, WAAIM International Workshop. LNCS. 2010, Vol. 6185. 25–36 p.p.
34. *Harel D.* On visual formalisms // Communications of the ACM. 1988. Vol. 31, No.5. Pp 514–530.
35. *Börger E., Staerck R.* Abstract State Machines: A Method for High-Level System Design and Analysis. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 448 p.
36. *Corella F., Zhou Z., Song X., Langevin M., Cerny E.* Multiway Decision Graphs for Automated Hardware Verification // Formal Methods in System Design. 1997. Volume 10, issue 1. Springer Netherlands. Pp. 7–46.
37. *Frank Drewes, Berthold Hoffmann, Detlef Plump.* Hierarchical Graph Transformation // Journal of Computer and System Sciences. 2002. Vol 64, No. 2. Pp. 249–283
38. *Gallo G., Longo G., Pallottino S., Nguyen S.* Directed hypergraphs and applications // Discrete Applied Mathematics. 1993. Vol. 42, no. 2–3. Pp. 177–201.
39. *Ehrig H., Kreowski H.-J., Montanari U., Rozenberg G.* Handbook of graph grammars and computing by graph transformation. Vol.1–3, Eds. World Scientific. 1997–1999.
40. *Hruby P.* Model-Driven Design Using Business Patterns // Springer. New York, 2009, 386 p.
41. *Kratochvil M., Carlson C.* Growing modular: Mass customization of complex products, Services and Software. Berlin: Springer, 2005. 172 Pp.
42. *Minas M.* Concepts and realization of a diagram editor generator based on hypergraph transformation // Science of Computer Programming. 2002. Vol 44, No. 2. 180 p.
43. *Aczel P.* Non well-founded sets. Center for the study of language and Information Lecture Notes. 1988. No. 14. 159 p.
44. *Molyneux R., Sazonov V.* Hyperset approach to semi-structured databases // Dataspace: The final frontier. Proceedings of the 26th British National Conference on databases. Berlin: Springer, 2009. Pp. 78–90.
45. *Anderson S., Power J., Tourlas K.* Zooming-out on Higraph-based diagrams: Syntactic and Semantic Issues // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. 2002. Vol. 61. Pp. 201–211
46. *Akman V., Pakkan M.* Nonstandard Set Theories and Information Management // Journal of Intelligent Information Systems. 1996. Vol. 6, No. 1. Pp. 5–31
47. *Gurevich Y.* The sequential ASM thesis. Microsoft Research technical report MSR-TR-99-09, Redmond, WA. 33p.

Гейда Александр Сергеевич — к.т.н., доцент; старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: анализ и синтез организационно-технических, социально-экономических систем, оценивание эффективности их функционирования, потенциала организационно-технических и социально-экономических систем в условиях риска. Число научных публикаций — 67. Geida@iias.spb.su, СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.t. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

Geida Alexander Sergeevich — PhD in Techniques, reader; senior researcher, Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics, Institution of the Russian Academy of Sciences St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS). Research interests: analysis and synthesis of techno-organizational, socio-economical systems, their

functioning efficiency estimation, estimation of techno-organizational, socio-economical systems capabilities under risk conditions. The number of publications — 67. Geida@ias.spb.su, SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией информационно-аналитических методов в экономике СПИИРАН, Заведующий лабораторией — д.т.н., проф. Игорь Васильевич Лысенко.
Статья поступила в редакцию 02.09.2011.

РЕФЕРАТ

Гейда А.С. Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов.

В статье вводится новое понятие – «эшграф», которое является расширением понятия «граф», что, в итоге, порождает расширение теории графов. Это расширение, как надеется автор статьи, позволит облегчить моделирование ТС, постановку задач исследования ТС и их решение. Ожидаемая польза, приносимая на этапе моделирования ТС применением эшграфов (в том числе — их геометрических образов — «геометрических эшграфов») вместо обычных графов (геометрических графов), связана с некоторым упрощением моделей ТС и/или уменьшением их количества (в полимодельном комплексе).

Это, возможное, упрощение проиллюстрировано примером графовой и эшграфовой геометрических моделей технической системы. Необходимость использования понятия эшграф продиктована развитием ТС, связанных, например, с реализацией инфо-, нано- и телекоммуникационных технологий, что в настоящее время привело к появлению новых задач их исследования: задач анализа ТС и задач проектирования (синтеза) ТС.

Это требует развития научных средств (моделей, методов, алгоритмов, программных комплексов) описания морфологических и функциональных особенностей современных и будущих ТС, процессов их функционирования (алгоритмов, планов, программ) с использованием эшграфов, и развития теории эшграфов.

SUMMARY

Geida A.S. The modeling in the course of technical systems investigation: some expansions of the graph theory usage.

The new eshgraph concept is introduced. That is expansion of concept of graph concept that, as a result, generates expansion of graph theory. This expansion as the author of article hopes, will allow to simplify technical system (TS) modeling and research. The expected advantage introduced at a stage of TC modeling by eshgraph application (including — its geometrical image — «geometrical eshgraph») instead of usual graph (geometrical graph) concept, is connected with some simplification of TC models and-or decreasing of TC models quantities (in a polymodelling complex).

This, possible, simplification is illustrated by an example of graph and eshgraph geometrical models for technical system. Necessity of use of eshgraph concept is dictated by TS development connected, for example, with realization of info - nano - and telecommunication technologies that now has led to occurrence of new problems of their research: problems of the TC analysis and problems of TC design (synthesis).

It demands development of scientific means (models, methods, algorithms, program complexes) for the description of structural and functional features of the modern and perspective TC, processes of their functioning (algorithms, plans, programs) by eshgraph concept usage and it demands eshgraph theory development.