УДК 004.942:007.3

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА СОВЕРШЕНСТВУЕМЫХ СИСТЕМ

Гейда А.С.*ФГБУН «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации»
Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург, e-mail: Geida@iias.spb.su*

В работе представлены концептуальные и формальные модели, разработанные для аналитического оценивания показателей потенциала совершенствуемых систем с использованием аналитических математических моделей. Свойство потенциала систем было определено, как комплексное операционное свойство системы, характеризующее приспособленность системы к достижению изменяющихся целей. Совершенствуемые системы – системы, которые должны изменяться в результате воздействий среды. Исследование потенциала систем выполнено на примере технологических систем. Концептуальная модель разработана методом представления концептов и их связей в формате mind maps. Она позволяет перейти к теоретико-графовым моделям функционирования системы с использованием моделей альтернативных стохастических симплицированных сетей. Представлен метод линеаризации, позволяющий порождать функциональные модели и затем программные модели из разработанных теоретико-графовых моделей. Полученные модели позволяют рассчитывать показатели потенциала системы и показатели эффективности использования информационной технологии. Для этого использован метод оценивания на основе определения мер возможности соответствия требуемых средой состояний системы и прогнозируемых при функционировании состояний системы. В дальнейшем предполагается использование предложенных моделей и методов оценивания потенциала систем для решения задач анализа потенциала систем и эффективности использования информационных технологий.

Ключевые слова: потенциал систем, операционные свойства, эффективность, результативность, потенциальные возможности, информационные технологии, эффективность использования информационных технологий

MODELS AND METHODS OF REFINED SYSTEM'S POTENTIAL ANALYTICAL ESTIMATION

Geyda A.S.*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS),
Saint-Petersburg, e-mail: Geida@iias.spb.su*

Conceptual and formal models developed for estimation of indicators of refined system's potential with use of mathematical models are presented in the article. The property of system's potential has been defined as the complex operational property of system characterizing its correspondence to achievement of changing goals in the rapidly changing environment. This property is similar to dynamic capability of firm but defined as systemological property of refined system. The research of system's potential is executed on the example of technological systems. The conceptual model is developed by method of representation of concepts and their communications in the mind maps format. It allows passing to graph theoretic representation of system functioning, representation of system and its functioning changes with use of alternative stochastic simplex networks models. The linearization method allowing generating functional models and then, program models from the developed graph theoretic models is presented. The models obtained allow calculating indicators of system's dynamic capabilities and information technology usage efficiency indicators. Method to measure such indicators suggested. It is based on possibility measure of compliance of the effects predicted characteristics to their required values. It is supposed to use models and methods offered for the solution of mathematical problems of analysis of refined system's potential, dynamic capabilities indicators and problems of efficiency of information technologies usage indicators analysis.

Keywords: capabilities, dynamic capabilities, potential, effectiveness, efficiency, information technology efficiency

В работе представлены основные фрагменты концептуальных и аналитических математических моделей, разработанных для оценивания показателей потенциала совершенствуемых систем. Свойство потенциала систем было определено как комплексное операционное свойство системы, характеризующее приспособленность системы к достижению изменяющихся целей. Совершенствуемые системы – системы, которые должны изменяться в результате воздействий среды. Изменяющаяся цель – действительная и возможные цели. Изменение целей происходит в результате воздействия среды и мо-

жет потребовать дополнительных операций для перехода к функционированию системы для достижения одной из возможных, актуализированных в результате действий среды, целей. Кроме изменения целей среда может вызывать случайные события при функционировании системы, ведущие к необходимости выполнения дополнительных операций при функционировании системы. В результате для учета изменяющихся воздействий среды возникает необходимость исследования того, какие у системы есть возможности по реагированию на указанные воздействия, по изменению системы и ее функциониро-

вания для того, чтобы функционирование лучше соответствовало изменяющимся требованиям среды. Такие возможности и моделируются при исследовании (оценивании, анализе, синтезе) потенциала систем. Исследование потенциала систем выполнено на примере технологических систем. Важнейшей особенностью исследования потенциала систем является необходимость моделирования использования информационных технологий, поскольку проверка состояний системы и среды, а затем выработка предписаний по реагированию на изменения реализуется информационными операциями в соответствии с той или иной информационной технологией. Моделирование такого использования выполнено на основе концептуальной модели взаимосвязи информационных и неинформационных операций (действий) при функционировании систем в условиях изменений среды. Концептуальная модель разработана методом представления концептов и их связей в формате mind maps. Она позволяет затем перейти к теоретико-графовому представлению функционирования системы, изменений системы и ее функционирования с использованием моделей альтернативных стохастических симплицированных сетей. Эти сети отличаются описанием, с использованием информационных операций разного вида, возможных альтернатив (ветвлений) при выполнении комплексов операций. Альтернативы связаны с воздействием среды и реакциями системы на такие воздействия, и они реализуются за счет выполнения информационных операций, изменяющих сведения о состоянии системы и среды, а затем изменяющих предписания по выполнению операций на рабочих местах системы. Методом линеаризации из полученных моделей получены модели деревьев последовательностей возможных состояний при функционировании системы в условиях изменений воздействий среды. Каждая ветвь такого дерева соответствует одному из возможных функционирований системы с использованием заданных способов реализации информационных операций в заданных условиях среды. Расчет эффектов такого функционирования реализуется на основе традиционных методов расчета стохастических сетей работ (мероприятий). Каждой ветви, и соответственно, стохастической сети работ сопоставляется еще и мера возможности реализации именно этой ветви в результате событий при функционировании системы и соответствующих группам таких событий ветвлений дерева. Полученный комплекс моделей функционирования помеченного характеристиками состояний и переходов между ними (событий) дерева последовательностей возможных состояний при функционировании

системы в условиях изменений воздействий среды и соответствующей ему альтернативной стохастической симплицированной сети позволяет рассчитать показатели потенциала системы и показатели эффективности использования информационной технологии. Для такого оценивания использован метод оценивания на основе определения мер возможности требуемого соответствия требуемых средой состояний системы и прогнозируемых при функционировании состояний системы.

Цель исследований: разработать такие модели и методы их использования, которые позволили бы научно обоснованно, с использованием аналитических прогнозных математических моделей выполнить расчеты характеристик результатов функционирования систем (эффектов), к которым предъявляются изменяющиеся требования со стороны среды. Такие эффекты должны рассчитываться с учетом характеристик возможных последовательностей воздействий среды, реализации, в связи с каждой последовательностью, необходимых информационных и затем зависящих от них причинно-следственной связью неинформационных действий и результатов последовательностей таких действий. Полученные характеристики эффектов и характеристики, в том числе меры возможности, реализации возможных последовательностей воздействий среды, позволяют перейти к разработке: методов оценивания показателей потенциала систем, методов оценивания эффективности использования информационных технологий при функционировании систем в условиях изменения воздействий среды.

Материалы и методы исследования

Основой для построения разработанных моделей и предложенных методов их использования при оценивании показателей является концептуальная модель исследования потенциала систем [1–3], записанная с использованием формата представления понятий и их связей mind maps. Модель в таком формате позволяет преобразовывать полученный файл в распространенные форматы представления знаний, такие как OWL. Концепты и принципы связаны в комплекс с использованием схем использования концептов. Пример схемы показан на рис. 1. Эта схема описывает закономерность, состоящую в том, что при реализации последовательностей технологических операций (ТлОп) сначала выполняются технологические информационные операции (ТИО) по проверке (изменившихся) состояний элементов и среды, затем – ТИО по выбору изменившихся ТлОп (при необходимости). ТИО вызываются изменениями состояний системы и среды. Их целевой результат – информация о том, в каком состоянии находятся СТС, ее среда и что следует в связи с этим изменить. Затем на практике реализуются связанные с информационными причинно-следственной связью технологические неинформационные операции (ТНИО). В результате

целенаправленно меняются неинформационные эффекты (вещества, энергии).

Технологическая информационная операция (ТИО) – это информационное действие, выполняемое в соответствии с технологической документацией (например: инструкциями, описаниями).

Технологическая неинформационная операция (ТНО) – это неинформационное действие, выполняемое в соответствии с технологической документацией. Технологические информационные операции выполняются в соответствии с той или иной информационной технологией (ИТ). На основе этой и других схем использования концептов порождаются сначала теоретико-графовые, а затем параметрические и функциональные модели функционирования системы в условиях изменений среды. Фрагменты теоретико-графовых моделей показаны на рис. 2 и рис. 3. Они построены на примере простейшей модели функционирования системы в условиях изменений среды, порожденной из традиционной сетевой модели выполнения ТлОп (четыре ТлОп в рассматриваемом примере). Такое порождение из традиционной модели позволяет лучше описать существенные отличия предложенных моделей от традиционных. А именно, в традиционной сетевой модели связи между работами (соответствуют вершинам 1–4) предопределены. В предлагаемой модели, описываемой нотацией альтернативных стохастических симплицированных сетей, возможны различные (альтернативные) последовательности связей и различный состав работ. Связи между альтернативами и возможные ветвления определяются ТИО разного вида. Сеть разбита на слои информационных и вызываемых ими неинформационных операций (переданы овалами).

На основе этой модели *методом линеаризации* формируются деревья симплексов состояний при функционировании (совершенствуемой) системы (рис. 3). Эти деревья формируются рекуррентно, по слоям, могут иметь вложенную структуру (для передачи отношений одновременности реализации состояний на разных рабочих местах).

Метод линеаризации состоит в последовательном переборе возможных ветвлений при реализации ТИО альтернативной стохастической симплицированной сети и последующих за ними состояний, реализуемых при условии последовательностей ветвлений – так, чтобы ветви дерева возможных симплексов состояний при функционировании системы соответствовали одной из возможных последовательностей воздействий среды, используемых ТИО и зависящих от них ТНИО. Расчет эффектов реализуется последовательным переходом по состояниям в результате реализации последовательности ТлОп (ТИО и ТНИО) и пересчета получаемых промежуточных эффектов. Предполагается, что при переходе в следующее состояние переход условен, при условии реализации только одного состояния из множества предшествующих состояний. От других предшествовавших состояний вероятность перехода не зависит. Это предположение дает возможность линеаризовать расчеты случайных величин и вероятностей, ассоциированных с каждой ветвью дерева. *Линеаризация расчетов* реализуется путем описания моделей переходов между состояниями (которые реализуются за счет информационных и неинформационных мероприятий тем или иным способом в тех или иных условиях) в виде отображений случайных состояний, таких, что результатом отображения может быть множество случайных состояний и закон распределения вероятностей реализации каждого из этих состояний. В результате получают рекуррентную последовательность отображений случайных величин и к окончанию расчета каждой ветви состояний соответствует вектор случайных эффектов функционирования при условии реализации состояний и событий ветви и мера возможности (вероятность) того, что все события ветви реализуются. В результате возможные последовательности состояний фиксируются в виде дерева возможных состояний с заданными на нем вероятностями реализации состояний при условии реализации единственного предшествующего состояния.

Рис. 1. Пример схемы использования концептов

Рис. 2. Альтернативная стохастическая симплицированная сеть, соответствующая заданной традиционной сети

Рис. 3. Фрагмент формируемого дерева возможных симплексов состояний при функционировании системы

Обозначим:

$C_i = \langle C_i^{cp}, C_i^{cmc}(C_i^{cp}) \rangle$ – i -я ветвь дерева возможных симплексов состояний при функционировании совершенствуемой системы $C_i^{cmc}(C_i^{cp})$ в заданных условиях функционирования среды C_i^{cp} . Ветвь дерева возможных симплексов состояний ассоциирована с одним из исходов функционирования среды и системы с использованием заданной информационной технологии.

P – вероятность наступления случайного события.
 $\tilde{Y}_{j,i}(C_i)$ – (случайное) значение j -го эффекта функционирования к окончанию исхода, ассоциированного с C_i . Например, затраты времени персонала на реализацию комплекса работ, затраты электроэнергии в результате реализации состояний и событий C_i .

$\tilde{Y}_{j,i}^A(C_i)$ – директивные (требуемые) значения эффектов функционирования при исходе функционирования системы и среды C_i .

$W_i(C_i)$ – вероятность удовлетворения требований при исходе функционирования C_i .

$T_c(h)$ – дерево возможных состояний при функционировании совершенствуемой системы в заданных условиях функционирования среды, построенное при условии использования h -й ИТ. Ветви $\{C_i, i = I, P\}$ дерева ассоциированы с исходами функционирования системы и ее среды.

$W_i(C_i) = \prod_{j=1,J} P(\tilde{Y}_{j,i}(C_i) \leq \tilde{Y}_{j,i}^A(C_i))$ – показатель эффективности функционирования системы при условии реализации исхода C_i функционирования среды и системы.

$p_i(C_i) = \prod_{k: C_{i,k} \in C_i} p_{i,k}(C_i)$ – вероятность p_i реализации исхода C_i функционирования системы и среды. Предполагается, что эта вероятность может быть рассчитана как произведение вероятностей $p_{i,k}(C_i)$ реализации исходов мероприятий, входящих в C_i , то есть исходы мероприятий независимы. Оценивать результаты функционирования совершенствуемой системы с использованием заданной h -й ИТ следует по всем возможным исходам функционирования дерева $T_c(h)$. Этому требованию, в частности, удовлетворяет скалярный показатель потенциала СТС – функция потенциала [2–4] при использовании h -й ИТ:

$$\Psi(T_c(h)) = \sum_{C_i \in T_c(h)} (W_i(C_i) \cdot p_i(C_i)).$$

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты позволяют оценивать показатели потенциала совершенствуемых систем, эффективности использования информационных технологий в разных областях техники [5–7] и бизнеса [8], которые следует оценивать при исследовании функционирования систем в условиях изменения воздействий среды [9–11]. Оценивание выполняется в зависимости от состава и характеристик используемых операций, используемой информационной технологии, от последовательностей информационных и неинформационных действий. Это дает возможность использовать полученные модели и методы для решения задач анализа потенциала совершенствуемых

систем и эффективности использования информационных технологий, а затем – синтеза характеристик совершенствуемых систем и их функционирования, характеристик информационных действий по показателям потенциала и эффективности использования информационных технологий [12–15].

Заключение

В дальнейшем предполагается использование предложенных моделей и методов оценивания для решения практических задач анализа потенциала систем и эффективности использования информационных технологий – например, при исследовании эффективности использования технологий распределенных реестров, эффективности роботизации производства.

Список литературы

1. Гейда А.С., Лысенко И.В. Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 22. С. 260–281.
2. Гейда А.С., Лысенко И.В., Седлов Е.П. Методика планирования инновационной деятельности // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 18. С. 301–319.
3. Гейда А.С., Лысенко И.В., Седлов Е.П. Планирование инновационной деятельности с учетом приоритетности изделий // Системы управления и информационные технологии. 2011. Т. 45. № 3–2. С. 220–224.
4. Гейда А.С., Лысенко И.В., Нехорошкин Н.И., Тремасов А.Д. Оценивание социально-экономических потенциалов для аудита отраслевых и региональных стратегий развития // Государственный аудит. Право. Экономика. 2011. № 1. С. 13–17.
5. Scott M., DeLone W., Golden W. Measuring eGovernment success: a public value approach. European Journal of Information Systems. 2016. Vol. 25 (3). P. 187–208. DOI: 10.1057/ejis.2015.11.
6. Bayne L., Schepis D., Purchase S. A framework for understanding strategic network performance: Exploring efficiency and effectiveness at the network level. Industrial Marketing Management. 2017. Vol. 67. P. 134–147. DOI: 10.1016/j.indmarman.2017.07.015.
7. Stojic N., Hashi I., Orlic E. Creativity, innovation effectiveness and productive efficiency in the UK. European Journal of Innovation Management. 2018. P. 1460–1060.
8. Yang Z., Yong S., Hong Y. Scale, congestion, efficiency and effectiveness in e-commerce firms // Electronic Commerce Research and Applications. 2016. Vol. 20. P. 171–182. DOI:10.1016/j.elerap.2016.07.003.
9. Matinheikki Y., Pesonen T., Artto K., Peltokorpi A. New value creation in business networks: The role of collective action in constructing system-level goals. Industrial Marketing Management. 2017. Vol. 7. P. 122–133.
10. Shelly P., Straub D., Liang T. How Information Technology Governance Mechanisms and Strategic Alignment Influence Organizational Performance: Insights from a Matched Survey of Business and IT Managers. MIS Quarterly. 2015. Vol. 39. P. 497–518. DOI: 10.1016/j.jbusres.2016.09.004.
11. Mikalef P., Pateli A. Information technology-enabled dynamic capabilities and their indirect effect on competitive performance: Findings from PLS-SEM and fsQCA. Journal of Business Research. 2017. Vol. 70. P. 1–16.
12. Wetering V., Mikalef P., Adamantia P. A strategic alignment model for IT flexibility and dynamic capabilities: Toward an assessment tool. Twenty-Fifth European Conference on Information Systems (ECIS). Guimarães, Portugal. 2017. P. 1–17.
13. Laaksonen O., Peltoniemi M. The essence of dynamic capabilities and their measurement. International Journal of Management Reviews. British Academy of Management. 2018. Vol. 20 (2). P. 184–205. DOI: 10.1111/ijmr.12122.
14. Schilke O., Hu S., Helfat C. Quo vadis, dynamic capabilities? A content-analytic review of the current state of knowledge and recommendations for future research. Academy of Management Annals. 2018. Vol. 12. No. 1. P. 390–439.
15. Zainal Arifin. Dynamic capability and Technology adoption: for improving Firm performance. LAP Lambert, 2017. 148 p.