

**DOI: 10.37943/AITU.2020.39.74.009**

**UDC: 510.665:006.071:159.928.234:007.51**

**D. Lukianov**

Candidate of Technical Sciences

lukianov@mipk.by, orcid.org/0000-0001-8305-2217

Belarusian National Technical University, Belarus

**V. Gogunskii**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the

Department of systems management life safety

gogunsky@opu.ua, orcid.org/0000-0002-9115-2346

Odessa National Polytechnic University, Ukraine

**E. Kolesnikova**

Doctor of Technical Sciences

amberk@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8835-0504

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

## **METHOD FOR ANALYZING COMPLEX SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE COMPETENCE MODEL OF ICB4.0 IPMA PROJECT MANAGERS**

**Abstract:** The article proposes to consider some of the results of the analysis of the internal relations of the structure of the model of individual competencies of project managers, proposed by the International Project Management Association (ICB IPMA). A method is proposed for analyzing such structures, which provides for a series of steps, starting with the formulation of the problem and identification of the system investigated for solving the problem, and ending with updating the idea of the structure of interactions of the elements of the system under consideration and setting a new problem (problem). The authors use an approach such as system engineering based on modeling, which assumes a plurality of representations (models) in the study of one system. In the article, the system under study is presented both in the form of a graph and in the form of an adjacency matrix, which makes it possible to use various methods of analysis and build various models on a common model of primary data. When presented in the form of a graph, an example of application for analysis of such software as yEd and Gephi is considered. When analyzing using matrix analysis, it is first of all proposed to use classical methods of analyzing such representations as Markov systems with discrete states. It is suggested to consider the representation in the form of a second-order adjacency matrix, presenting it in the form of a “system landscape” showing the number of “paths” of transitions from one state to another (connections between elements), including through the adjacent elements of the system. It is proposed to consider such a matrix as an analogue of a “decision matrix”, considering the full set of system elements both as a set of “strategies” and as a set of “reactions” to strategies, which allows applying the methods of analysis of such a matrix used in game theory (decision theory). The closeness between the conclusions obtained on the basis of the analysis of the set of visual representations proposed by the authors and also the analytical approach they use, using elements of Markov analysis and game theory, is shown.

**Keywords:** system engineering, Markov models, adjacency matrix, directed graph, graph theory, evaluation, decision making under uncertainty, game theory, project management, competency model

**Лукьянов Д.В.**

Кандидат технических наук

lukianov@mipk.by, orcid.org/0000-0001-8305-2217

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

**Гогунский В.Д.**Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
управления системами безопасности жизнедеятельности

gogunsky@oru.ua, orcid.org/0000-0002-9115-2346

Одесский национальный политехнический университет, Украина

**Колесникова Е.В.**

Доктор технических наук

amberk@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8835-0504

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРОЕКТНЫХ МЕНЕДЖЕРОВ ICB4.0 IPMA

**Аннотация:** В статье предлагается рассмотреть некоторые результаты проведения анализа внутренних связей структуры модели индивидуальных компетенций руководителей проектов, предлагаемой Международной ассоциацией управления проектами (ICB IPMA). Предлагается методика проведения анализа подобных структур, предусматривающая прохождение серии шагов, начиная с постановки проблемы и идентификации исследуемой для решений поставленной проблемы системы и заканчивая обновлением представления о структуре взаимодействий элементов рассматриваемой системы и постановки новой задачи (проблемы). Авторы используют такой подход, как системный инжиниринг на основе моделирования, предполагающий множественность представлений (моделей) при исследовании одной системы. В статье исследуемая система представлена как в виде графа, так и в виде матрицы смежности, что предоставляет возможность использования различных методик анализа и построение различных моделей на общей модели первичных данных. При представлении в виде графа рассматривается пример применения для анализа такого программного обеспечения как uEd и Gephi. При анализе с использованием матричного анализа прежде всего предлагается использовать классические методы анализа таких представлений как марковских систем с дискретными состояниями. Предлагается рассматривать представление в виде матрицы смежности второго порядка, представляя ее в виде «системного ландшафта», демонстрирующей количество «путей» переходов от одного состояния к другому (связей между элементами), в т.ч. через смежные элементы системы. Предлагается рассмотреть такую матрицу как аналог «матрицы решений», рассматривая полное множество элементов системы и как набор «стратегий», и как набор «реакций» на стратегии, что позволяет применить методы анализа такой матрицы, применяемые в теории игр (теории принятия решений). Показана близость между выводами, полученными на основании анализа предлагаемого авторами набора визуальных представлений и также используемого ими аналитического подхода, использующего элементы марковского анализа и теории игр.

**Ключевые слова:** системный инжиниринг, марковские модели, матрица смежности, ориентированный граф, теория графов, оценка, принятие решений в условиях неопределенности, теория игр, управление проектами, модель компетенций.

## Введение

Практически все ведущие мировые профессиональные организации, предлагающие свой взгляд на системы необходимых знаний по управлению проектами, сегодня предлагают свое представление необходимых «наборов компетенций», требующихся руководителям проектов, программ и портфелей проектов для успешного управления. Такие модели предлагают и Международная ассоциация управления проектами (IPMA) [1], и американский институт управления проектами (PMI) [2], и даже авторы Руководства СКРАМ (scrum.org) [3]. В них так или иначе явно отмечаются как блоки или отдельные элементы, связанные с «мягкими» факторами, так и то, что можно отнести к «жестким факторам», а также к пониманию влияния контекста на объект управления. При этом такие три блока можно увидеть и в других системах представлений, необходимых слагаемых успеха для деятельности проектных команд, например, в ролевой модели управленческих команд, предлагаемой Р. Белбиным [4]. При этом предполагается взаимодействие элементов, принадлежащих каждому из таких блоков как внутри соответствующего блока, так и с элементами смежных в таких моделях блоков компетенций. Понимание не только наличия таких связей, в том числе их формализация, как это было, в частности, предложено IPMA в своей третьей редакции Индивидуальных требований к компетенциям проектных менеджеров (IPMA ISB 3.0) [5], но и их взаимосвязей, соответственно взаимовлияний является с нашей точки зрения ключевым фактором успеха в формировании программ обучения, развития и сертификации соответствующих специалистов.

## Проблема

Несмотря на предпринимаемые попытки ряда авторов описания взаимодействия элементов систем знаний в различных областях деятельности человека [6-10], к сожалению, еще нет сложившегося подхода к формализации такого рода сложных структур, позволяющего применять более профессиональные аналитические методы к их анализу. Отсутствие такого подхода не позволяет, с нашей точки зрения, также и проводить оценку их эффективности. Также отсутствие такого рода единого подхода затрудняет и применение аналитического подхода к решению задачи выбора соответствующей проектной ситуации методологии управления проектом (включая возможное обоснование выбора «смешанного» подхода [11]). Представляется полезным создание общего подхода к описанию такого рода моделей, в том числе для корректировки существующих подходов к управлению проектами.

Анализ авторами ряда формализованных систем знаний на основе компетентностного подхода, предлагаемых на сегодняшний день не только профессиональными сообществами [12-14], но даже и такими структурами как ООН [15], к сожалению, только подтвердил и актуальность, и, как ни странно, все еще существующую «научную новизну» для предложения такого метода. Более того, в структуре ООН даже существует «Группа Организации Объединенных Наций по оценке» (UNEG), которая представляет собой межучрежденческую сеть профессионального взаимодействия, объединяющую подразделения по проведению оценок в системе Организации Объединенных Наций, у них также есть свои термины, определения, стандарты работы. В частности, сам подход к понятию «оценка», как отмечено в таком документе UNEG как «Нормы и стандарты оценок» [16]: «Оценка представляет собой как можно более систематически и беспристрастно проводимый анализ вида деятельности, проекта, программы, стратегии, политики, вопроса, темы, сектора, оперативной области или институциональной результативности. В ходе ее проведения анализируются как ожидаемые, так и непредвиденные результаты, что достигается посредством изучения цепочки результатов, процессов, контекстуальных факторов и причинно-следственных связей с использованием надлежащих критериев, таких как актуальность, эффективность, результативность, воздействие и устойчивость. Оценка должна обеспечивать получение

достоверной, полезной и основанной на фактах информации, которая создает благоприятную среду для своевременного учета полученных в ходе оценки сведений, рекомендаций и уроков по итогам оценки в процессах принятия решений организациями и заинтересованными сторонами.» Причем, по нашему мнению, документы UNEG также, к сожалению, не включают (несмотря на множество разработанных ими форм и разъяснений) публичной системной модели с описанием целостной архитектуры всей системы, где также можно было бы продемонстрировать «цепочки результатов, процессов, контекстуальных факторов и причинно-следственных связей».

**Предлагаемое решение.** В качестве возможного подхода к построению моделей сложных организационно-технических, социально-экономических и других систем предлагается использовать инструментарий общей теории систем. Л. Берталанфи [17] предложено рассматривать следующую структуру для понимания «широкого смысла» системного подхода (рисунок 1):



Рис. 1. Структура общей теории систем по Л.Берталанфи.

Несмотря на то, что каждый из элементов структурной схемы Берталанфи можно рассматривать как отдельную науку, тем не менее практическая ценность каждого из представленных элементов, как конкретного инструмента формализации и анализа систем многократно возрастает при комплексном применении всех этих подходов при работе с сложными системами. Если говорить об анализе сложных систем из позиции такого подхода, известного как «новая» кибернетика, в которой, в отличие от «классической» кибернетики, предлагается рассматривать информацию как построенную и восстановленную человеком, взаимодействующим с окружающей средой [18, 19], то предлагаемый в этой статье интегрированный пошаговый подход и есть построение информационной модели на основе анализа системы взаимодействий между элементами исследуемой системы (причем с использованием практически всех элементов, предложенных Л. Берталанфи в своей структуре).

Предлагается следующая последовательность действий при анализе, представленная в Таблице 1, включающей, кроме того, описание как соответствующих шагам информаци-

онных «входов» и «выходов», а также и применимых «инструментов и методов» преобразования указанных «входов» каждого шага в соответствующие «выходы». В изложенной в таблице 1 логике последовательных «шагов» авторы использовали механизм цикла «PDCA» [20], известного как цикл Деминга-Шухарта. Такой подход предполагает повторное использование шагов 0 – 7, где весь цикл (шаг «0») стартует с наличия «проблемы», выход каждого «шага» является одновременно «входом» следующего, а завершение предлагаемого набора шагов завершается постановкой новой «проблемы»:

Таблица 1. Технология работы по исследованию моделей сложных систем (разработка авторов)

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
0	Определение объекта исследования	Проблема	Задание, опрос, исследование, гипотеза, результаты наблюдения за работающей системой либо экспериментальными данными	Конкретная система (общее описание)
1	Идентификация компонентов исследуемой системы	Общее описание системы	Экспертный метод, анализ данных, опрос, моделирование	Перечень компонентов (элементов)
2	Идентификация отношений между компонентами (элементами) исследуемой системы	Перечень компонентов (элементов)	Экспертный метод, анализ данных, опрос, моделирование	Перечень связей между элементами
3	Формализация структуры объекта исследования	Перечень компонентов (элементов), Перечень компонентов (элементов)	Графические и аналитические методы представления систем (включая специализированное программное обеспечение), а также соответствующие стандарты и нотации	Графическое представление (ориентированный граф), аналитическое представление (матрица смежности)
4	Первичная обработка формализованной структуры объекта исследования	Графическое представление (ориентированный граф), аналитическое представление (матрица смежности)	Марковские методы, методы теории графов, функционального анализа, теории игр, теории решений, теории информации, топологии	Набор представлений, полученных в результате применения соответствующих методов
5	Интерпретация и верификация представлений модели	Набор представлений, полученных в результате применения соответствующих методов	Подготовка моделей, статей, презентаций, докладов, обсуждение в профессиональном сообществе с целью получения обратной связи	Расширение представления о возможных интерпретациях полученных данных
6	Предложение заключений, предложений и рекомендаций по использованию модели и взаимодействия с исследуемой системой	Расширение представления о возможных интерпретациях полученных данных	Формирование планов действий для проверки сформированных гипотез	Переход к проверке полученных выводов непосредственно на реальной «копии системы» (пилотном проекте)
7	Накопление «критической массы» новых «знаний» и «незнаний»	Наблюдение за поведением реальной «копии системы»	Сбор данных, корректировка модели, формирование новых гипотез	Формализации новой «проблемы»

**Пример реализации.** В качестве примере реализации предлагаемого авторами подхода к построению моделей сложных систем предлагается рассмотреть применение к анализу модели компетенций проектных менеджеров, разработанной Международной ассоциацией управления проектами (IPMA ICB 4.0 [14]). Предлагается продемонстрировать логику подхода путем комментариев для каждого шага, представленного в таблице 1.

Таблица 2. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «0»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
0	Определение объекта исследования	Проблема	Задание, опрос, исследование, гипотеза	конкретная система (общее описание)
		Необходимость обновления программы подготовки специалистов в сфере управления проектами в связи с выходом IPMA ICB 4.0	Анализ изменений в структуре IPMA ICB 4.0, анализ связанных документов (ISO 21500 и ISO 21504), а также PMI PMCDF	Идентификация формальных отличий между версиями IPMA ICB 3.0 и 4.0

Комментарий: Приведен пример по состоянию на 2016 год, соответствующему началу работы авторов по развитию ранее созданных ими моделей и методов анализа компетенций проектных менеджеров.

Таблица 3. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «1»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
1	Идентификация компонентов исследуемой системы	Общее описание системы	Экспертный метод, анализ данных, опрос, моделирование	Перечень компонентов (элементов)
		Набор элементов системы IPMA ICB 4.0 на основе описания стандарта	Изучение стандарта	Описание элементов системы IPMA ICB 4.0 на основе текста стандарта

Комментарий: Изучение текста стандарта, в том числе для определения степени «преемственности» по отношению к версии IPMA ICB 3.0 [5] и логики связей с указанными стандартами ISO 21500 [21] и ISO 21504 [22].

Таблица 4. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «2»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
2	Идентификация отношений между компонентами (элементами) исследуемой системы	Перечень компонентов (элементов)	Экспертный метод, анализ данных, опрос, моделирование	Перечень связей между элементами
		Описание элементов системы IPMA ICB 4.0 на основе текста стандарта (Текст стандарта)	Анализ текста стандарта (описание элементов компетенций)	Сформированная структура связей сразу в виде матрицы смежности первого порядка для элементов IPMA ICB 4.0 на основе текста стандарта

Комментарий: Матрица смежности для модели индивидуальных компетенций IPMA ICB 4.0, предлагаемой Международной ассоциацией управления проектами была получена относительно легко (без необходимости проведения опросов, применения экспертного метода и т.д.) в силу того, что в тексте этого стандарта существуют в явном виде отсылки к связям каждого из элементов с другими элементами системы, что позволило быстро построить матрицу смежности первого порядка, используя ту же логику, которая была применена при описании структуры IPMA ICB 3.0 [23-26] (рисунок 2):

Factor name	Elements that are affected (columns)																												
	FID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Influencing Elements (Rows)	FID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Strategy	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Governance, structure and processes	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1
Compliance, standards and regulations	3	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
Power and interests	4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Culture and values	5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Self-reflection and self-management	6	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal integrity and reliability	7	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Personal communication	8	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Relations and engagement	9	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Leadership	10	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Teamwork	11	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Conflict and crisis	12	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
Resourcefulness	13	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Negotiation	14	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Results orientation	15	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
Project design	16	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Requirements and objectives	17	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Scope	18	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time	19	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Organisation and information	20	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Quality	21	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Finance	22	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Resources	23	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Procurement	24	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Plan and control	25	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Risk and opportunities	26	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Stakeholder	27	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Change and transformation	28	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Рис. 2. Матрица смежности 1-го порядка (разработка авторов)

Таблица 5. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «3»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
3	Формализация структуры объекта исследования	Перечень компонентов (элементов)	Графические и аналитические методы представления систем (включая специализированное программное обеспечение), а также соответствующие стандарты и нотации	Графическое представление (ориентированный граф), аналитическое представление (матрица смежности)
		Матрица смежности для элементов IPMA ICB 4.0 на основе текста стандарта	Методы создания ориентированного графа (с использованием специализированного программного обеспечения yEd и Gephi)	Ориентированный граф, построенный на основе матрицы смежности для элементов IPMA ICB 4.0 на основе текста стандарта. Неадаптированный файл шаблона расчетов на основе матрицы смежности с данными IPMA ICB 4.0

Комментарий: использование разработанных ранее для IPMA ICB 3.0 расчетных форм и шаблонов заключалось в формировании документов на основе логики описанной ранее методики [23-26], а также перенос созданной для элементов IPMA ICB 4.0 матрицы смежности в шаблон, позволяющий осуществлять анализ формализуемых в виде матриц смежности систем, разработанного авторами в виде книги Microsoft Excel [27]. Форма, представленная на рисунке 2, полученная в виде файла формата xls, позволяет быстро трансформировать данные матрицы смежности в форму, необходимую для ввода данных в такой системе как Gephi [28] (формат csv), что существенно сможет сократить время на создание ориентированного графа, а также сокращает вероятность ошибки при вводе больших массивов данных (к примеру, граф для IPMA ICB 4.0 содержит 28 вершин и 443 ребра). На рисунке 3 представлен фрагмент листа книги Excel с соответствующими данными для графа элементов IPMA ICB 4.0:

	A
1	Source,Target,Type,Id,Label,timeset,Weight
2	0,1,Directed,0,PER,,1
3	0,2,Directed,1,PER,,1
4	0,3,Directed,2,PER,,1
5	0,4,Directed,3,PER,,1

Рис. 3. Файл формата csv для экспорта данных о структуре ориентированного графа в Gephi (фрагмент)

На рисунке 4 представлен фрагмент Таблицы Данных проекта Gephi с соответствующими данными для графа элементов IPMA ICB 4.0:

Source	Target	Type	Id	Weight
19 - CE20	1 - CE2	Ориентированное	392	1.0
19 - CE20	2 - CE3	Ориентированное	393	1.0
19 - CE20	7 - CE8	Ориентированное	394	1.0
19 - CE20	9 - CE10	Ориентированное	395	1.0

Рис. 4. Структура Таблицы Данных, содержащая информацию о ребрах ориентированного графа IPMA ICB 4.0 в Gephi (фрагмент)

Таким образом можно получить представление о структуре графа в специализированном программном обеспечении Gephi, позволяющем проводить прежде всего аналитический анализ графов с использованием различных соответствующих алгоритмов на основе данных о структуре графа.

Также стоит отметить возможность визуального анализа графов, для чего авторы используют такое известное программное обеспечение как yEd [29], позволяющее использовать широкий спектр представлений графов (и не только). На рисунке 5 представлена структура графа, созданного в среде yEd:

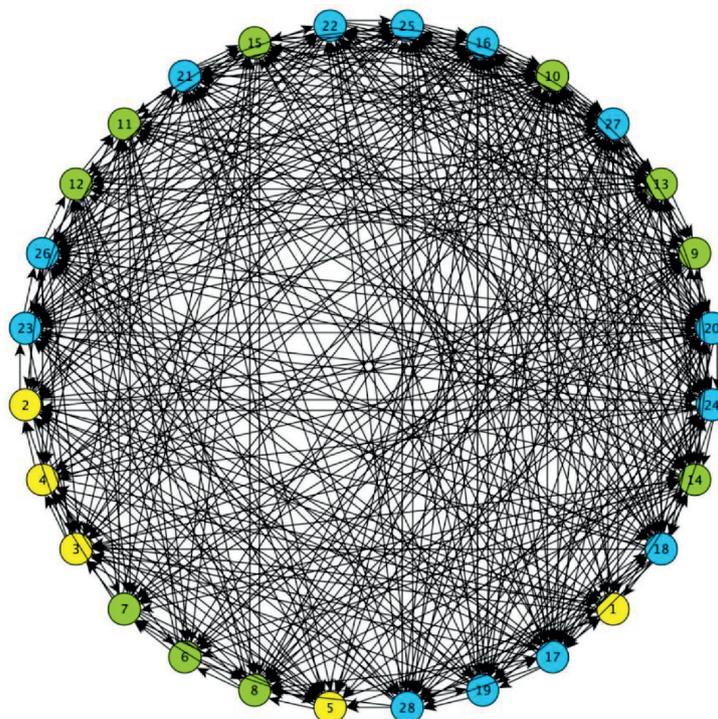


Рис. 5. Ориентированный граф для модели IPMA ICB 4.0, реализованный в yEd

Таблица 6. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «4»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
4	Первичная обработка формализованной структуры объекта исследования	Графическое представление (ориентированный граф), аналитическое представление (матрица смежности)	Марковские методы, методы теории графов, функционального анализа, теории игр, теории решений, теории информации, топологии	Набор представлений, полученных в результате применения соответствующих методов
		Файлы в форматах программного обеспечения Microsoft Excel, yEd, Gephi	Задание формул расчетов различных параметров и критериев, а также построение диаграмм имитационного моделирования на базе матрицы смежности первого порядка (в Excel). Использование стандартного функционала анализа графов в yEd и Gephi	Визуализация аналитической информации, полученной при анализе матричного представления в Excel с использованием различных параметров и критериев, включая построение диаграмм переходных процессов на основе матрицы переходных вероятностей (построенной на основе логики Лапласа либо Байеса), представление «системного ландшафта», визуализация результатов расчета критериев на основе теории игр и принятия решений и энтропийного анализа. Настраиваемые формы анализа в yEd и Gephi

Комментарий: использование разработанных ранее для IPMA ICB 3.0 расчетных форм и шаблонов заключалось в анализе на основе логики Булевой алгебры, описанной ранее в работе [30], после чего методы анализа были серьезно расширены путем предложения концепции визуализации «системного ландшафта», представляющего визуализации для «входящей» и «исходящей» мощностях вершин анализируемого графа, а также перенос логики создания «платежных матриц» из теории игр на логику использования матриц смежности порядка, соответствующему ситуации отсутствия нулевых элементов в соответствующей матрице (состояние «кратчайшей достижимости»). Результаты такого моделирования более подробно описаны в работах авторов [23-26]. Здесь же, приведем пример созданного для элементов IPMA ICB 4.0 «системного ландшафта» (рисунок 6) на основе рекомбинации матрицы смежности второго порядка представленной на рисунке 7, построенной на основе матрицы, представленной на рисунке 2:

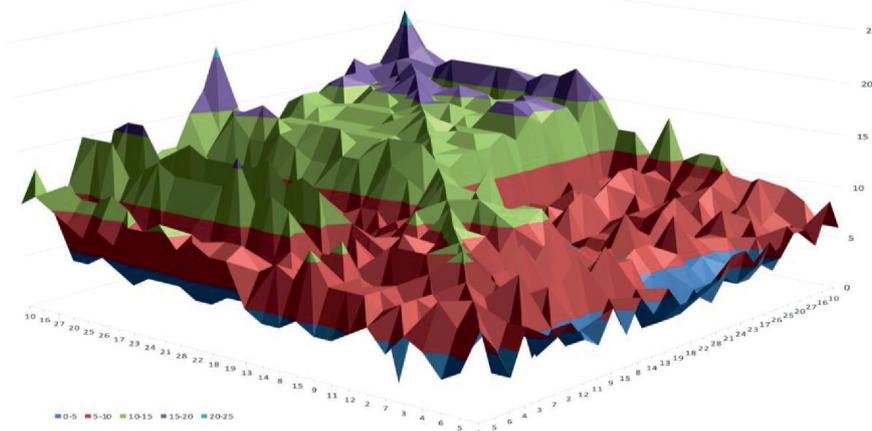


Рис. 6. «Системный ландшафт» для IPMA ICB 4.0 (создано средствами Excel на основе матрицы смежности второго порядка)

Основой же для представленной на рисунке 6 новой версии (по сравнению с впервые представленной [31]) «системного ландшафта» стала матрица смежности второго порядка, рекомбинированной в порядке убывания значений вдоль большой диагонали, представленная на рисунке 7:

Factor name	Elements that are affected (columns)																																
	FID	10	16	27	20	25	26	17	23	24	21	28	22	18	19	13	14	8	15	9	11	12	2	7	3	4	6	5	1				
Influencing Elements (Rows)	FID	10	16	27	20	25	26	17	23	24	21	28	22	18	19	13	14	8	15	9	11	12	2	7	3	4	6	5	1				
Leadership	10	21	17	16	16	17	15	15	14	14	14	12	12	12	21	17	15	12	12	11	10	15	10	15	11	8	13	10	387	1	21	1	
Project design	16	16	21	15	15	16	16	16	13	15	15	13	13	12	12	15	13	11	7	8	7	6	16	6	15	8	4	10	11	345	2	21	2
Stakeholder	27	16	18	17	17	14	15	14	13	14	14	13	13	12	12	15	15	9	9	6	7	6	16	6	15	10	4	12	10	342	3	17	3
Organisation and Information	20	16	16	13	17	16	14	15	14	14	13	13	13	12	12	16	13	8	9	7	6	7	13	5	12	9	5	11	9	328	4	17	4
Plan and control	25	16	17	13	14	17	16	15	14	14	13	13	13	12	12	15	13	9	9	6	7	4	14	4	13	9	4	11	8	325	6	17	5
Risk and opportunities	26	15	17	14	15	15	17	14	14	14	13	13	13	12	12	14	14	9	8	6	6	3	15	4	14	8	3	12	9	323	10	17	6
Requirements and objectives	17	16	17	14	15	15	15	16	13	14	13	13	13	12	12	15	13	7	9	6	7	6	14	4	13	9	4	11	8	324	7	16	7
Resources	23	15	17	12	15	16	14	15	15	14	14	13	13	12	12	15	12	10	8	7	5	6	14	5	13	9	4	9	10	324	8	15	8
Procurement	24	15	17	13	15	15	14	15	13	15	14	13	13	12	12	15	12	10	8	5	7	6	14	5	13	9	4	9	10	323	9	15	9
Quality	21	16	16	12	14	15	14	14	13	12	15	12	12	11	11	14	13	9	5	6	4	5	14	4	13	8	3	8	11	304	14	15	10
Change and transformation	28	14	17	15	15	14	14	13	13	14	13	14	13	12	12	14	13	8	8	7	6	5	15	5	16	8	3	10	9	320	11	14	11
Finance	22	15	17	13	14	16	15	16	13	14	14	13	14	12	12	15	12	9	6	6	7	6	13	4	12	7	4	9	10	318	12	14	12
Scope	18	16	18	14	14	16	16	16	13	14	14	13	13	13	12	15	13	9	7	6	7	6	14	4	13	8	4	10	9	327	5	13	13
Time	19	15	16	13	15	15	14	15	13	14	13	13	13	12	13	15	12	7	8	6	7	6	13	4	12	8	4	10	9	315	13	13	14
Resourcefulness	13	12	6	8	8	8	6	6	7	6	6	5	5	5	5	13	11	9	9	8	8	10	4	8	5	9	8	8	5	208	16	13	15
Negotiation	14	12	6	8	8	8	8	6	7	4	6	5	5	5	5	12	13	9	9	9	8	9	4	8	5	8	8	9	4	208	17	13	16
Personal communication	8	10	8	5	5	8	6	6	5	5	5	3	3	3	3	10	9	13	8	11	9	8	4	10	5	8	8	8	4	190	20	13	17
Results orientation	15	14	9	9	10	10	9	8	9	8	6	7	7	7	7	14	12	10	12	9	9	10	7	8	8	11	8	11	5	254	15	12	18
Relations and engagement	9	10	8	5	5	8	6	6	5	5	5	3	3	3	3	10	9	12	8	12	9	8	4	10	5	8	8	8	4	190	21	12	19
Teamwork	11	11	9	8	6	7	7	7	4	6	6	4	4	4	4	11	11	11	8	10	11	9	5	10	6	7	8	8	4	206	18	11	20
Conflict and crisis	12	11	9	8	8	7	5	7	4	6	6	4	4	4	4	11	10	10	8	10	9	11	5	10	6	8	8	8	5	206	19	11	21
Governance, structure and processes	2	9	10	9	8	6	9	8	6	7	9	6	6	7	7	7	8	4	3	3	2	1	11	2	9	5	0	7	6	175	22	11	22
Personal integrity and reliability	7	9	7	5	6	5	5	3	3	4	1	1	1	1	8	9	10	8	10	8	8	3	11	2	8	8	8	4	162	24	11	23	
Compliance, standards and regulations	3	6	10	8	7	8	6	6	7	9	6	7	7	6	6	7	5	6	5	4	4	3	8	4	9	6	2	6	6	174	23	9	24
Power and interests	4	9	7	6	7	5	6	5	5	4	6	5	5	4	4	7	8	5	5	5	4	3	7	3	8	9	3	9	5	159	25	9	25
Self-reflection and self-management	6	8	6	5	5	6	4	4	3	3	3	1	1	1	1	8	8	10	8	10	8	8	2	10	3	7	9	7	3	152	27	9	26
Culture and values	5	6	5	6	7	3	4	3	3	4	2	3	3	2	2	5	6	3	6	3	4	3	5	3	6	7	3	9	4	120	28	9	27
Strategy	1	6	9	5	7	7	5	7	5	7	7	5	5	4	4	6	4	6	3	6	3	4	6	5	6	7	3	6	8	156	26	8	28
priority by diag. elem		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				

Рис. 7. Рекомбинированная для создания на ее основе «системного ландшафта» матрица смежности второго порядка для IPMA ICB 4.0

Также матричное представление удобно для расчета приоритезации элементов рассматриваемой системы с точки зрения их влияния на всю систему в логике теории игр и принятия решений [32] (рисунок 8):

Factor name	Rows Min		Rows Max		1-V		V		Hurwitz		Max/Max		Max/Min (Wald)		BL		HL		LL	
	FID	min	max	P	O	R	Rmax	R	Rmax	R	Rmax	R	Rmax	R	Rmax	R	Rmax	R	Rmax	
Influencing Elements (Rows)																				
Leadership	10	8	21	0,6	0,4	13,2	13,2	21	21	8	8	13,82	13,8	10,3	10,3	387	387			
Project design	16	4	21	0,6	0,4	10,8		21	21	4		12,32		7,33		345				
Stakeholder	27	4	18	0,6	0,4	9,6		18		4		12,21		7,29		342				
Organisation and information	20	5	17	0,6	0,4	9,8		17		5		11,71		7,69		328				
Scope	18	4	18	0,6	0,4	9,6		18		4		11,68		7,07		327				
Plan and control	25	4	17	0,6	0,4	9,2		17		4		11,61		7,04		325				
Requirements and objectives	17	4	17	0,6	0,4	9,2		17		4		11,57		7,03		324				
Resources	23	4	17	0,6	0,4	9,2		17		4		11,57		7,03		324				
Procurement	24	4	17	0,6	0,4	9,2		17		4		11,54		7,01		323				
Risk and opportunities	26	3	17	0,6	0,4	8,6		17		3		11,54		6,41		323				
Change and transformation	28	3	17	0,6	0,4	8,6		17		3		11,43		6,37		320				
Finance	22	4	17	0,6	0,4	9,2		17		4		11,36		6,94		318				
Time	19	4	16	0,6	0,4	8,8		16		4		11,25		6,9		315				
Quality	21	3	16	0,6	0,4	8,2		16		3		10,86		6,14		304				
Results orientation	15	5	14	0,6	0,4	8,6		14		5		9,071		6,63		254				
Resourcefulness	13	4	13	0,6	0,4	7,6		13		4		7,429		5,37		208				
Negotiation	14	4	13	0,6	0,4	7,6		13		4		7,429		5,37		208				
Teamwork	11	4	11	0,6	0,4	6,8		11		4		7,357		5,34		206				
Conflict and crisis	12	4	11	0,6	0,4	6,8		11		4		7,357		5,34		206				
Personal communication	8	3	13	0,6	0,4	7		13		3		6,786		4,51		190				
Relations and engagement	9	3	12	0,6	0,4	6,6		12		3		6,786		4,51		190				
Governance, structure and processes	2	0	11	0,6	0,4	4,4		11		0		6,25		2,5		175				
Compliance, standards and regulations	3	2	10	0,6	0,4	5,2		10		2		6,214		3,69		174				
Personal integrity and reliability	7	1	11	0,6	0,4	5		11		1		5,786		2,91		162				
Power and interests	4	3	9	0,6	0,4	5,4		9		3		5,679		4,07		159				
Strategy	1	3	9	0,6	0,4	5,4		9		3		5,571		4,03		156				
Self-reflection and self-management	6	1	10	0,6	0,4	4,6		10		1		5,429		2,77		152				
Culture and values	5	2	9	0,6	0,4	4,8		9		2		4,286		2,91		120				

Рис. 8. Расчет некоторых критериев принятия решений на основе «платежной матрицы», созданной на базе матрицы смежности второго порядка для IPMA ICB 4.0

Некоторую расчетную информацию также представляет вкладка «Статистика» в Gephi (рисунок 9), в том числе сопровождаемую визуализацией в виде графиков:

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Статистика по графу</b>		
Средняя степень	15,821	Запуск
Средняя взвешенная степень	15,821	Запуск
Диаметр графа	3	Запуск
Плотность графа	0,586	Запуск
HITS		Запуск
Модулярность	0,157	Запуск
PageRank		Запуск
Связные компоненты	1	Запуск
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Статистика по узлу</b>		
Средний коэффициент кластеризации	0,676	Запуск
Eigenvector Centrality		Запуск
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Статистика по ребру</b>		
Средняя длина пути	1,415	Запуск

Рис. 9. Расчет некоторых статистических показателей для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде Gephi во вкладке «Статистика»

Также вкладка «узлы» в «таблице Данных», доступной в «Лаборатории Данных» Gephi (рисунок 10) может предоставить целый массив расчетных данных, представляющих интерес для последующего анализа (отфильтровано по наибольшему значению суммарной мощности узла):

Id	Label	Входящая	Исходящая	Суммарн...	Weight...	Weigh...	Взвеше...	Eccen...	Closene...	Harmoni...	Between...	Autho...	Hub	Modul...	PageRank	Comp...	Strongly-C...	Clustering ...
9	CE10	23	24	47	23.0	24.0	47.0	2.0	0.9	0.944444	46.002...	0.229...	0.24642	0	0.048819	0	0	0.566154
20	CE21	16	30	46	16.0	30.0	46.0	2.0	0.75	0.833333	13.715...	0.188...	0.3612...	1	0.033151	0	0	0.790323
15	CE16	22	21	43	22.0	21.0	43.0	2.0	0.8181...	0.888889	20.395...	0.249...	0.2397...	1	0.046121	0	0	0.679654
26	CE27	19	21	40	19.0	21.0	40.0	2.0	0.8181...	0.888889	17.551...	0.230...	0.2358...	1	0.036403	0	0	0.648221
24	CE25	20	19	39	20.0	19.0	39.0	2.0	0.7714...	0.851852	15.011...	0.241...	0.2209...	1	0.037827	0	0	0.679654
19	CE20	20	19	39	20.0	19.0	39.0	2.0	0.7714...	0.851852	16.543...	0.237...	0.2235...	1	0.039036	0	0	0.666667
25	CE26	19	19	38	19.0	19.0	38.0	2.0	0.7714...	0.851852	13.619...	0.232...	0.2172...	1	0.035963	0	0	0.690476
16	CE17	18	19	37	18.0	19.0	37.0	2.0	0.7714...	0.851852	8.88941	0.225...	0.2247...	1	0.034662	0	0	0.716667
23	CE24	17	19	36	17.0	19.0	36.0	2.0	0.7714...	0.851852	8.4747...	0.216...	0.2255...	1	0.032778	0	0	0.702381
22	CE23	17	19	36	17.0	19.0	36.0	2.0	0.7714...	0.851852	8.4124...	0.218...	0.2258...	1	0.030553	0	0	0.7
12	CE13	22	13	35	22.0	13.0	35.0	2.0	0.6585...	0.740741	16.948...	0.243...	0.1211...	0	0.04323	0	0	0.645022
27	CE28	15	19	34	15.0	19.0	34.0	2.0	0.7714...	0.851852	4.6870...	0.203...	0.2203...	1	0.027115	0	0	0.710526
13	CE14	21	13	34	21.0	13.0	34.0	2.0	0.6585...	0.740741	20.766...	0.205...	0.1224...	0	0.045807	0	0	0.564286
21	CE22	15	18	33	15.0	18.0	33.0	2.0	0.75	0.833333	2.8294...	0.203...	0.2182...	1	0.02705	0	0	0.795322
17	CE18	14	19	33	14.0	19.0	33.0	2.0	0.7714...	0.851852	2.3575...	0.195...	0.2258...	1	0.024647	0	0	0.763158

Рис. 10. Расчет некоторых статистических показателей (фрагмент) для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде Gephi («Лаборатория Данных»)

Наибольший интерес в плане визуализации, все же, по нашему мнению, будут обладать представления, получаемые путем соответствующих настроек представлений графа, доступных в программном продукте yEd.

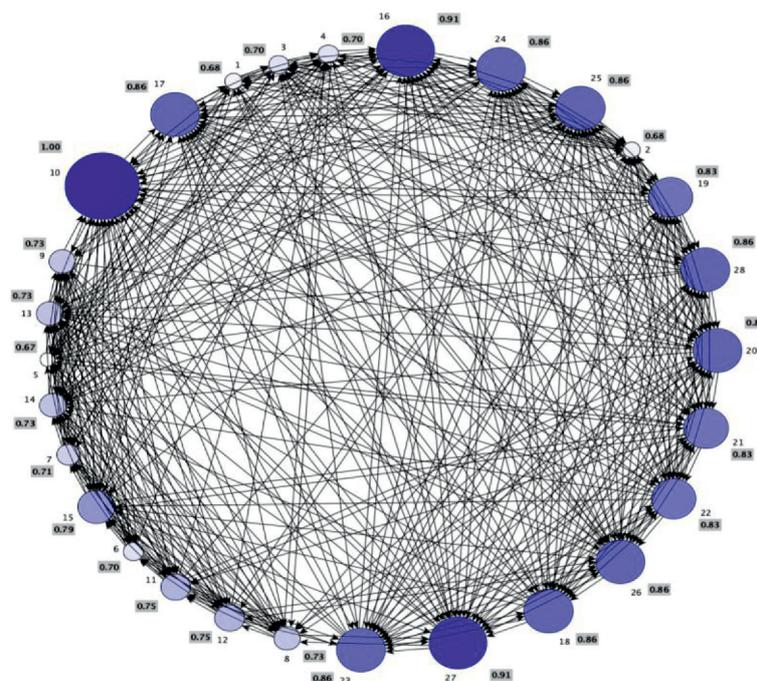


Рис. 11. Ориентированный граф для модели IPMA ICB 4.0, реализованный в yEd (представление Circular Layout - Single Cycle)

Как видно на представленном рисунке 11, yEd позволяет визуализировать веса вершин (элементов модели), исходя из информации о количестве ребер (связей), что делает такое представление гораздо более информационно насыщенным по сравнению с представленным на рисунке 5 первичным представлением модели в виде графа.

Тем не менее, визуализации такого параметра как «центральность» также представляет интерес. В частности, на рисунке 12 представлена важность не только элемента 10, но и 16 благодаря представлению «Weighted Centrality»:

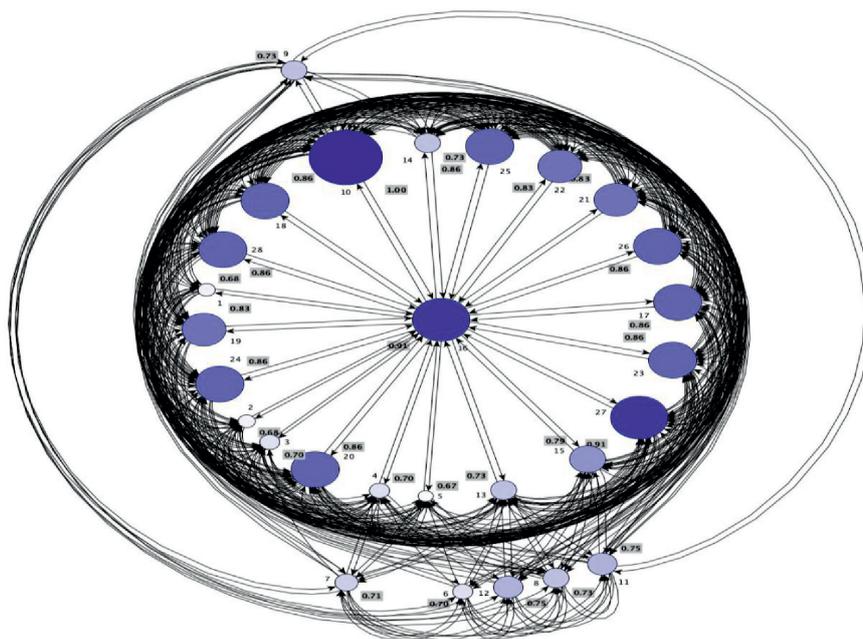


Рис. 12. Визуализация некоторых статистических показателей (фрагмент) для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде yEd в представлении Radial Layout для Weighted Centrality (Distance From Center)

Возможности визуализации позволяют оценить «центральность» непосредственно со структурной точки зрения. В частности, на рисунке 13 представлена важность не только элемента 4, которая вовсе не была видна исходя из анализа весовых показателей:

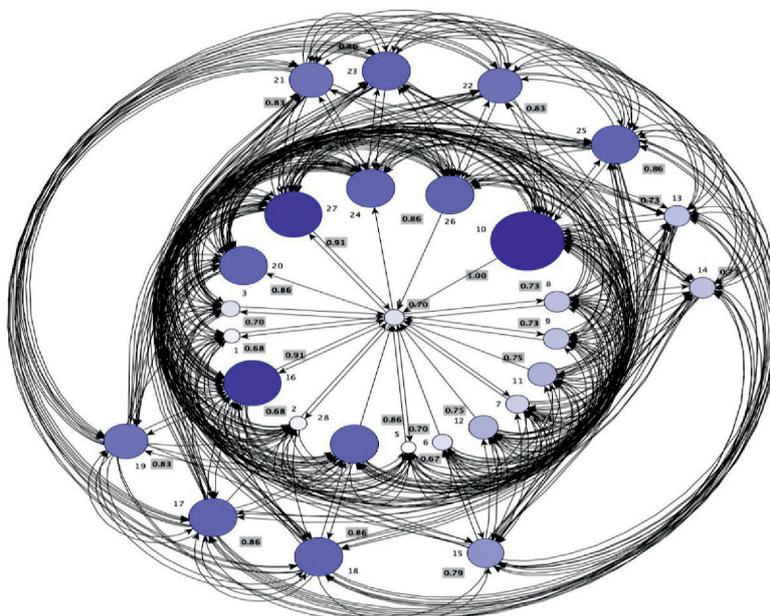


Рис. 13. Визуализация некоторых статистических показателей (фрагмент) для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде yEd в представлении Radial Layout для Centrality (Distance From Center)

Таким образом, на рисунках 11-13 представлены варианты визуализации, пожалуй, важнейших топологических представления структурных связей, существующих в модели IPMA ICB 4.0.

Как видно по размещенным на рисунках 12 и 13 представлениям – они кардинальным образом отличаются от «описательного» представления на рисунке 5. Хотя все еще это представления одной и той же системы. По нашему мнению, использование подобных мощных инструментов для разносторонней визуализации графов исследуемых моделей позволяет несколько иначе взглянуть на изучаемые системы, чем только через призму аналитических показателей, представленных в матричном (табличном) виде. Исходя из представленной графически информации становится возможным не только предложение новых гипотез относительно структурных связей исследуемых систем, но и их «быстрая проверка» визуальными средствами. В частности, на рисунке 14 представлена иерархия отношений между вершинами графа (элементами модели):

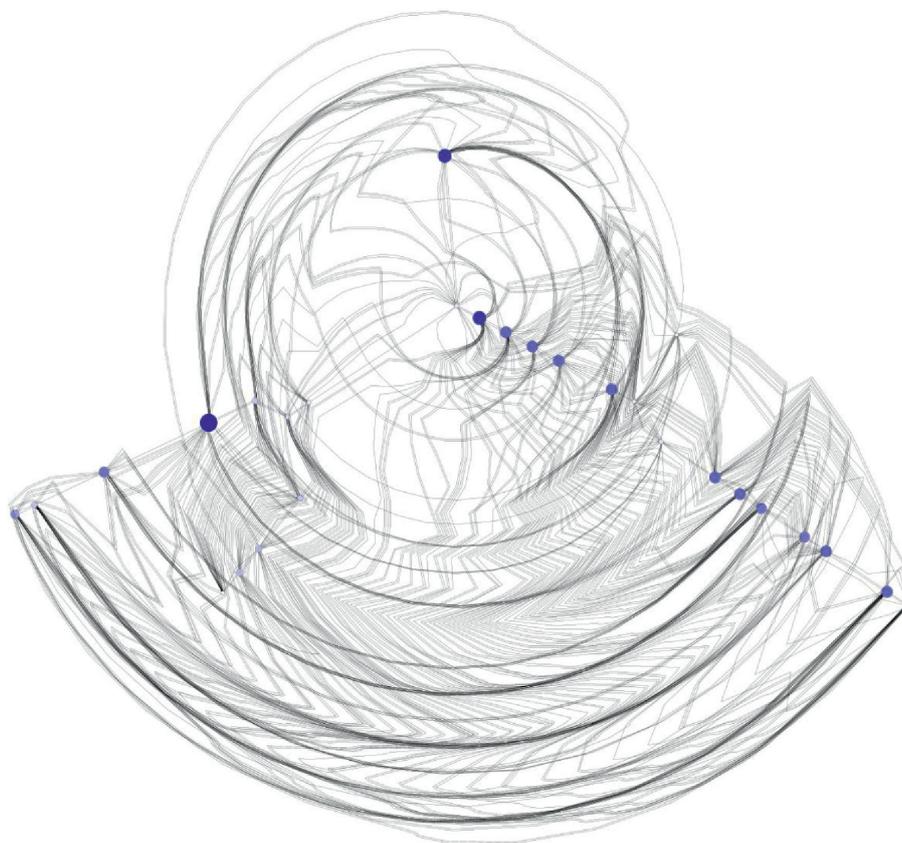


Рис. 14. Визуализация некоторых статистических показателей (фрагмент) для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде yEd в представлении Radial Layout для Centrality (Hierarhic)

Даже если создателями стандарта IPMA ICB 4.0 не была предложена группировка элементов модели компетенций ICB 4.0 по трем группам компетенций, как это представлено его разработчиками, но была бы дана только информация о связях между конечными элементами всей модели, это было бы легко сделать на основе анализа такого представления, как представленное на рисунке 15:

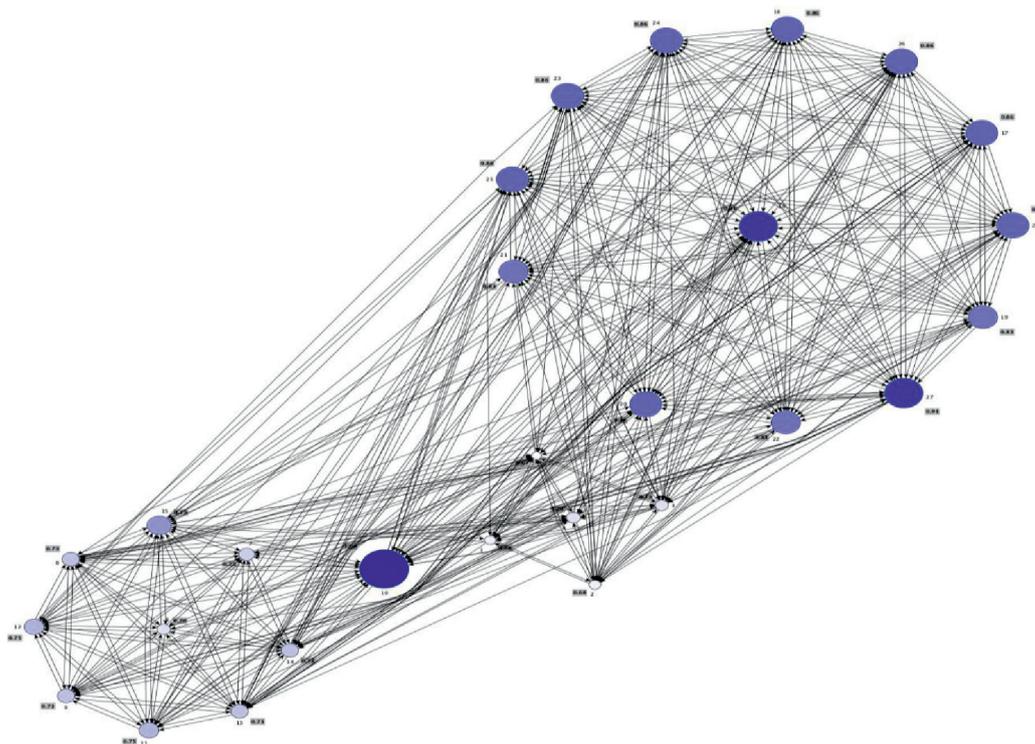


Рис. 15. Визуализация некоторых показателей (фрагмент) для ориентированного графа для модели IPMA ICB 4.0 в среде yEd в представлении Tree – Balloon Layout – Weighted Center Root – Organic

С другой стороны, если бы создатели стандарта IPMA ICB 4.0 использовали подобные виды представлений разрабатываемых ими моделей, возможно, им захотелось бы отдельно вынести описание элемента 10 и описать его роль как связующего элемента между тремя группами элементов компетенций, необходимость чего явно видна на основе анализа представления модели на рисунке 15.

Таблица 7. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «5»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
5	Интерпретация и верификация представлений модели	Набор представлений, полученных в результате применения соответствующих методов	Подготовка моделей, статей, презентаций, докладов, обсуждение в профессиональном сообществе с целью получения обратной связи	Расширение представления о возможных интерпретациях полученных данных
		Графические и аналитические представления расчетных данных на основе матрицы смежности первого порядка, представленные на рис. 6-10 и 12-13	Перенос полученных результатов и примененного подхода на другие объекты моделирования	Получение обратной связи о возможности использования конкретной модели и используемых методов и инструментов моделирования

Комментарий: в качестве примера можно привести сделанные авторами презентации своих идей в рамках достаточно многочисленных как научных, так и практико-ориентированных профессиональных конференций на протяжении 2018-2020 гг.

Таблица 8. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «6»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
6	Предложение заключений, предложений и рекомендаций по использованию модели и взаимодействия с исследуемой системой	Расширение представления о возможных интерпретациях полученных данных	Формирование планов действий для проверки сформированных гипотез	Переход к проверке полученных выводов непосредственно на реальной «копии системы» (пилотном проекте)

Комментарий: в качестве примера можно привести корректировку ранее предложенной «первой версии» визуализации «системного ландшафта» в пользу «диагонального представления» (рис. 7) на основе некоторых подходов к применению энтропийного подхода [33] к анализу информационных систем. В настоящее время наш коллектив находится на переходе от этого, шестого, шага к следующему. Как видно из комментария к Шагу «0», со старта всего цикла прошло уже более 5 лет, но цикл все еще не завершился. Тем не менее, мы надеемся, что необходимость инициации прохождения следующего цикла не заставит себя долго ждать.

Таблица 9. Пример использования технологии работы по исследованию моделей сложных систем на примере анализа модели IPMA ICB 4.0 (разработка авторов). Шаг «7»

Шаг	Описание шага	«Вход» шага	Методы и инструменты	Результат («Выход») шага
7	Накопление «критической массы» новых «знаний» и «незнаний»	Наблюдение за поведением реальной «копии системы»	Сбор данных, корректировка модели, формирование новых гипотез	Формализации новой «проблемы»
		Начало масштабной трансформации компетентностного подхода в мировой практике с использованием «принципов» и «ценностного подхода»	Наблюдение и участие в жизни профессионального и научного сообщества, в том числе использование наукометрического подхода, позволяющего отслеживать динамику научного интереса к тем или иным направлениям исследований и разработок	Постановка проблемы, о которой, на данный момент, мы скорее можем только догадываться

Комментарий: в качестве примера можно привести использование такого метода наблюдения, как элементы наукометрического подхода, включая апробирование идей путем отслеживания реакции на них профессионального сообщества [34].

### Дискуссия

Предложенный в статье подход существенно расширяет описанный ранее [35] подход к анализу свойств структурных моделей. При этом использование элементов такого подхода уже представлено по отношению к анализу коммуникационных процессов в управлении проектами [36, 37], а в некоторых случаях в явном виде применяется к анализу с использованием построения графов и последующей оценкой таких специфических для анализа графов параметров как «degree centrality», «betweenness centrality», «eigenvector centrality» и «PageRank» [38]. С другой стороны, при наличии специализированного программного обеспечения, которое в своем «базовом функционале» имеет возможность как расчета тех же параметров (Gephi), так и расширенный функционал в плане возможности всевозможных представлений для визуализации исследуемых графов (yEd), возможно, исполь-

зование собственных моделей, реализуемых с помощью программирования средствами популярных сейчас R, Python или другой программной среды, не имеют особого смысла (за исключением, конечно, использования в учебных целях), кроме, возможно, интеграционного проекта, который свел бы, например, использование того функционала, который использовали авторы этой статьи с помощью трех различных продуктов в одной «оболочке» (интерфейсе), который позволил бы избежать, как минимум множественного ввода данных (что, безусловно повышает вероятность ошибки, особенно при ручном вводе таких данных). С другой стороны, использование стандартных пакетов подобных Gephi, позволяет более эффективно поэкспериментировать с оценкой и интерпретацией таких параметров как, PageRank известных уже более 20 лет [39] и другими не используемыми обычно в такой «прикладной» интерпретации. В понимании требований к такому программному продукту, создание такого специализированного «конфигуратора» и «анализатора» в одном продукте стало бы весьма полезно как минимум для целого класса специалистов, занятых в сфере бизнес-анализа, тогда точно придется использовать программирование [40, 41].

Стоит заметить, что использование предложенной пошаговой технологии, конечно можно проводить гораздо в более сжатые сроки прежде всего благодаря тому, что описанный подход был получен авторами путем многочисленных проб и ошибок на протяжении длительного промежутка времени. Сейчас же можно «встать на плечи предыдущих исследователей», предлагающих использовать свой формализованный опыт.

Отдельно стоит отметить еще раз, то что предложенные шаги по сути демонстрируют применение «общей теории систем» в логике Л.Берталанфи и так называемого «системного инжиниринга на основе моделирования» (MBSE [42]), когда предлагается насколько возможно, всесторонне подойти к оценке одного и того же феномена (исследуемой системы) с использованием различных методов и инструментов. Как отмечено [43], «ключевая характеристика MBSE – это поддержка одновременного использования множества методов описания (viewpoints), то есть одновременного применения множества методов моделирования для получения множества групп описаний (views), которые адресуют различные интересы соответствующих заинтересованных лиц. MBSE заканчивается в тот момент, когда вам удалось объединить все имеющиеся модели и софт солверов: вы можете определить вашу систему и по результатам моделирования понять, как она себя поведёт в тех или иных условиях». Именно такая множественность методов описания и анализа, является сильной стороной предложенного пошагового и мультиинструментального метода по мнению его авторов.

В случае рассмотренного авторами примера применения пошаговой технологии к анализу IPMA ICB 4.0 можно отметить, что несмотря на некоторые отличия в ранжировании элементов компетенций этой модели различными способами (с применением марковских методов, критериев из теории игр/принятия решений, энтропийного анализа, а также теории графов) первенство «лидерства» как ведущего элемента модели компетенций было подтверждено во всех случаях.

### **Заключение**

Представленная модель, по мнению авторов может быть использована при анализе любых других сложных систем, где может быть идентифицировано достаточно большое количество взаимовлияющих элементов для того, чтобы анализ такого рода систем стал уже неэффективен в «ручном режиме», но тем не менее еще возможен для формализации в таком режиме связей между элементами, в том числе и с использованием экспертного подхода. Возможно такой подход позволит более «инструментально» подойти и к оценке важности отдельных элементов, в том числе путем моделирования ситуаций как «исключе-

чения» ряда узлов либо ребер (элементов, либо связей между ними), так и «добавления» (прогнозирование необходимости наличия реально существующего, но ранее не идентифицированного элемента либо связи между идентифицированными элементами) что позволит более профессионально и объективно подходить к оценке сложных систем.

## Литература

1. IPMA [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.ipma.world/> – Дата доступа: 10.10.2020.
2. PMI [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.pmi.org/> – Дата доступа: 10.10.2020.
3. Швабер, К., и Сазерленд Д. (2017). Исчерпывающее руководство по Скраму: Правила Игры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2016/2016-Scrum-Guide-Russian.pdf> – Дата доступа: 20.09.2020
4. The Nine Belbin Team Roles [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.belbin.com/about/belbin-team-roles/> – Дата доступа: 10.10.2020.
5. Бушуев, С.Д., и Бушуев, Д.А. Основы индивидуальных компетенций для Управления Проектами, Программами и Портфелями (National Competence Baseline, NCB Version 3.0). К.: Саммит-Книга.
6. Caupin, G., Knöpfel, H., Koch, G., Pannenbäcker, K., Pérez-Polo, F., & Seabury, C. (2004). *Comparison between ICB and other project management standards*. Bilbao: ICB Revision Project.
7. Yao, C.C., Siang, L.F., & Yih C.H. (2016). Comparing and Identifying the Similarities and Differences of Global Project Management Philosophies. *Innovation and management*, 1677 p.
8. Crawford, L. (2013). *Competition, comparison, collaboration – mapping a pathway through project management standards*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 74, 1-9.
9. Ghosh, S. et al. (2012). Enhance PMBOK® by comparing it with P2M, ICB, PRINCE2, APM and Scrum project management standards. *PM World Today*, 4 (1), 1-77.
10. Manuel Kössler Project Management Standards and Approaches. *A systematic Comparison* [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a76d6b24fa&location=browse> – Дата доступа: 10.10.2020.
11. Бушуев, С.Д. и Козир, Б.Ю. (2020). Гібридизація методологій управління інфраструктурними проектами та програмами // *Вісник Одеського національного морського університету*, №. 61, 187-207.
12. *Standard PMI Project Management Competency Development Framework (PMCDF)* (2013). Project Management Institute.
13. Ohara, S. (2005). *P2M: A guidebook of Project and Program Managements for Enterprise Innovation*, vol. 1, Revision 3 /S. Ohara//Project Management Association of Japan (PMAJ).
14. Бушуев, С.Д. и Бушуев, Д.А. (2017). *Основы индивидуальных компетенций для Управления Проектами, Программами и Портфелями* (National Competence Baseline, NCB Version 4.0). – К.: Саммит-Книга, 2017.
15. United Nations Evaluation Group (2016). *Evaluation Competency Framework*. New York: UNEG.
16. UNEG «Нормы и стандарты оценок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unevaluation.org/document/download/2663> – Дата доступа: 20.10.2020
17. Берталанфи, Л. (1972)/ История и статус общей теории систем. Системные исследования: Ежегодник, М.: Наука, 20–37.
18. Давтян, А.Г., Шабалина, О.А. Садовникова, Н.П. и Парыгин Д.С. (2019). Кибернетика как курс управления. *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. Выпуск 2, номер (12). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kibernetika-kak-diskurs-upravleniya> – Дата доступа: 20.10.2020
19. Теслер Г.С. (2005). *Новая кибернетика как фундаментальная наука* // ММС. №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-kibernetika-kak-fundamentalnaya-nauka> – Дата доступа: 20.10.2020
20. Генри Р. (2005). *Нив Пространство доктора Деминга. Принципы построения устойчивого бизнеса* // М.: Альпина Бизнес Букс. 370.
21. ISO 21500:2012 *Guidance on project management* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/50003.html> – Дата доступа: 20.10.2020

22. ISO 21504:2015 *Project, programme and portfolio management* – Guidance on portfolio management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/61518.html> – Дата доступа: 20.10.2020
23. Лукьянов, Д.В., Колесникова, К.В., и Гогунский В.Д. (2010). Метод структурного анализа компетенций НСВ. *Управління проектами у розвитку суспільства*, К., КНУБА, 2, 135-136.
24. Колеснікова К.В. Визначення ядер знань поведінкових компетенцій фахівців з управління проектами // *Вісник НУК*. 5-6, 84-88.
25. Лукьянов, Д.В., Гогунский, В.Д., Власенко, Е.В. (2012). Визначення ядер знань на графі компетенцій проектних менеджерів. *Вост.-Европ. журнал передовых технологий*, № 10/55, 26-28.
26. Колеснікова, К.В., и Лук'янов, Д.В. (2013). Аналіз структурної моделі компетенцій з управління проектами національного стандарту України. *Управління розвитком складних систем*, 13, 19-27.
27. IPMA ICB Excel template (Researchgate) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/343267452\\_Matrice\\_superpozicii\\_i\\_perehodnyh\\_veroatnostej\\_landshaft\\_ICB3\\_2019\\_WinExcel\\_05082019](https://www.researchgate.net/publication/343267452_Matrice_superpozicii_i_perehodnyh_veroatnostej_landshaft_ICB3_2019_WinExcel_05082019) – Дата доступа: 21.09.2020
28. Gephi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gephi.org> – Дата доступа: 20.10.2020
29. yEd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yworks.com/products/yed> – Дата доступа: 20.10.2020
30. Lukianov, D., Kolesnikov, O., Dmitrenko, K., and Gogunskii, V. (2017). Analysis of the structural models of competencies in project management. *Technology audit and production reserves*. Vol. 2 (2/34), 4-11. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.100393
31. Lukianov, D., Mazhei K., & Gogunskii, V. (2019). *Transformation of the International Project Management Association Project Managers Individual Competencies Model* IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 506-512.
32. «Азарт» и критерии теории игр для ICB IPMA (Implementation Game Theory elements to IPMA ICB 4.0 system landscape analyses - Excel calculation example. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/344329979\\_ICB4\\_Theory\\_of\\_Games\\_Lukianov\\_01082020](https://www.researchgate.net/publication/344329979_ICB4_Theory_of_Games_Lukianov_01082020) – Дата доступа: 21.09.2020)
33. Bondar, A. et al. (2020). *Entropy Paradigm of Project-Oriented Organizations Management* //ITPM, 233-243.
34. Kolesnikova K. et al. (2017). Communication management in social networks for the actualization of publications in the world scientific community on the example of the network ResearchGate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4), 27-35.
35. Колесніков, О.Є., и Лук'янов, Д.В. (2015). Властивості структурних моделей процесів проектного управління. *Шляхи реалізації кредитно-модульної системи*, 11, 30-39.
36. Lukianov D. et al. (2017). Development of the markov model of a project as a system of role communications in a team // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, vol. 3, no. 3, 21-28.
37. Sherstiuk, O., Kolesnikov, O., & Lukianov, D. (2019). *Team Behaviour Model as a Tool for Determining the Project Development Trajectory*. IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). 496-500.
38. Trach R., & Bushuyev S. (2020). Analysis communication network of construction project participants // *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – Дата доступа: 20.10.2020
39. Brin, S., & Lawrence, P. *The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine*, in Proceedings of the seventh International Conference on the World Wide Web (WWW1998):107-117 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://snap.stanford.edu/class/cs224w-readings/Brin98Anatomy.pdf> – Дата доступа: 20.10.2020.
40. Необходимо ли вам изучать язык R? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/bd-learnr/index.html> – Дата доступа: 20.10.2020.
41. Что такое Python: чем он хорош, где пригодится и как его выучить [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://netology.ru/blog/python> – Дата доступа: 20.10.2020.
42. What is MBSE (Model-Based Systems Engineering)? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.eclipse.org/capella/what\\_is\\_mbse.html](https://www.eclipse.org/capella/what_is_mbse.html) – Дата доступа: 20.10.2020.
43. MBSE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sewiki.ru/MBSE> – Дата доступа: 20.10.2020.