

Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 519: 331.101.1

doi:10.30987/2658-4026-2022-1-3-13

Экспериментальная проверка эффективности применения эволюционного моделирования при управлении организационными процессами IT-проектов

Юлия Викторовна Вайнилович

Белорусско-Российский университет, Могилевская область, Могилев, Беларусь

Ylia.v@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-4507-8288>

Аннотация. *Повышение эффективности управления организационными процессами IT-проектов является актуальной задачей, которую постоянно решают руководители проектов. Одним из путей решения данной задачи является применение эволюционного моделирования для рационального выбора состава команд исполнителей и распределения исполнителей на задачи. В соответствии с современными гибкими методологиями управления IT-проектами, одним из основных факторов успешной реализации IT-проекта являются люди и взаимоотношения. Это обуславливает необходимость учета личностных и психологических качеств исполнителей в комплексе с учетом профессиональных компетенций. Основным критерием эффективности управления IT-проекта является трудоемкость решения проектных задач. Наиболее полно учитывать различные аспекты работы команды исполнителей при расчете трудоемкости позволяет методика СОСОМО II.*

В статье предложена схема и описаны основные этапы эксперимента, позволяющего оценить эффективность применения комплексного системного подхода к решению задачи повышения эффективности управления организационными процессами IT-проектов. Экспериментальная проверка реализует комплексную обработку информации о личностных и психологических качествах и профессиональных компетенций участников команд исполнителей, комплексную оценку эффективности принятия решений при управлении синтезом состава и структуры команд исполнителей и распределении участников проекта на задачи на основе развития методов эволюционного моделирования в сочетании с методикой СОСОМО II и методом парных сравнений Т. Саати.

Ключевые слова: эволюционное моделирование, управление, IT-проекты, проверка адекватности, эксперимент

Для цитирования: Вайнилович Ю. В. Экспериментальная проверка эффективности применения эволюционного моделирования при управлении организационными процессами IT-проектов // Эргодизайн. 2022. №1 (15). С. 3-13. doi: 10.30987/2658-4026-2022-1-3-13.

Original article

Open Access Article

Experimental efficiency checking of applying evolutionary modelling while managing organizational processes of IT projects

Yulia V. Vainilovich

Belarusian-Russian University, Mogilev region, Mogilev, Belarus

Ylia.v@tut.by; <https://orcid.org/0000-0002-4507-8288>

Abstract. *Improving the efficiency of managing the organizational processes of IT projects is an urgent task that project managers constantly solve. One of the ways to solve this problem is to use evolutionary modelling for the rational choice of composing the performers' teams and distributing the performers to the given tasks. In accordance with modern flexible IT project management methodologies, some of the main factors for the successful implementation of an IT project are people and relationship. This necessitates taking into account the performers' personal and psychological qualities in a complex, considering professional competencies. The main criterion for IT project management efficiency is the labour intensity of solving project problems. The COCOMO II method allows having the most complete consideration of various aspects of the perform-*

ers' team work while calculating labour intensity.

The article proposes a scheme and describes the main stages of the experiment, which makes it possible to evaluate the effectiveness of using an integrated systematic approach to solving the problem of improving the efficiency of managing the organizational processes of IT projects. Experimental checking implements comprehensive processing of information about the personal and psychological qualities and professional competencies of the performers' teams members, a comprehensive assessment of the decision-making effectiveness when managing the synthesis of the performers' team composition and structure and the distribution of project participants into tasks based on developing evolutionary modeling methods in combination with the COCOMO II method and the method of paired comparisons T. Saaty.

Keywords: evolutionary modelling, management, IT projects, adequacy testing, experiment

For citation: Vainilovich Yu. V. Experimental Efficiency Checking of Applying Evolutionary Modelling in Managing Organizational Processes of IT Projects. Ergodizayn [Ergodesign], 2022, no. 1 (15). pp. 3-13. doi:

Введение

Повышение эффективности управления обеспечивает снижение трудоемкости и длительности реализации IT-проектов. Основными организационными процессами, определяющими эффективность управления IT-проектами, является рациональный выбор состава команды исполнителей и рациональное распределение исполнителей на задачи [1].

Для выполнения всех требований заказчика необходимо решить задачу оценки и подбора состава исполнителей, обладающих необходимыми компетенциями, уровнем квалификации, личностными и психологическими качествами, способных реализовать IT-проект с минимальными трудовыми затратами в заданные сроки.

В работе [2] предложена концепция комплексного повышения эффективности управления IT-проектами, отличающаяся синтезом структуры и состава команды исполнителей и распределением исполнителей на задачи с учетом личностных и психологических качеств и профессиональных компетенций кандидатов на участие в проекте.

Предложенная концепция позволила создать новый метод повышения эффективности управления IT-проектами [3] на основе алгоритмов эволюционного моделирования в сочетании с методикой COCOMO II [4] и методом парных сравнений Т.Саати [5]. Методика COCOMO II применяется для расчета трудоемкости проекта, метод парных сравнений Т. Саати – для определения значений поправочных коэффициентов методики COCOMO II.

Цель работы заключается в экспериментальной проверке предложенных в работах [1-3] концепции, метода и алгоритмов повышения эффективности управления IT-проектами.

1. Оценка повышения эффективности управления организационными процессами IT-проектов

Пусть руководитель проекта осуществляет

выбор состава команды исполнителей $team$ из множества $TEAM$ допустимых составов ($team \in TEAM$), исходя из требуемых для реализации проекта технологий и ограничения по длительности выполнения. В результате выбора состава команды исполнителей $team \in TEAM$, реализуется результат $team_0 \in TEAM_0$, где $TEAM_0$ – множество допустимых составов команд исполнителей. Допустимым является состав команды, в который каждый исполнитель входит один раз. Одновременно один исполнитель может входить только в одну команду.

При выборе состава команды исполнителей руководитель проекта действует согласно своим предпочтениям и тем, как состав команды $Participants = \{Participant\}$ влияет на трудоемкость PM выполнения IT-проекта.

Участник команды исполнителей ($Participant$) характеризуется личностными и психологическими качествами (PPQ), перечнем ($Tech$) и уровнем владения технологиями ($LTech$), опытом участия в аналогичных проектах (Ex)

$$Participant = \langle PPQ, Tech, LTech, Ex \rangle.$$

Трудоемкость IT-проекта PM рассчитывается по методике COCOMO II.

Выбор состава команды руководителем проектов определяется правилом индивидуального рационального выбора $P^{PM}(TEAM, Participant) \subseteq TEAM$, которое выделяет множество наиболее предпочтительных, с точки зрения руководителя проектов, составов команд.

Пусть руководитель проекта осуществляет декомпозицию задач на подзадачи, которые характеризуются типом ($Type$), технологией ($Tech$), приоритетом ($Ptask$)

$$Task = \langle Type, Tech, Ptask \rangle$$

и выбирает вариант распределения $distribution$ исполнителей команды $team$ на задачи из множества допустимых вариантов распределения D . В результате выбора варианта распределения исполнителей $distribution \in D$ реализуется результат $distribution_0 \in D_0$, где D_0 – множество допустимых вариантов распределения исполнителей.

При декомпозиции задач на подзадачи и выборе варианта распределения исполнителей на задачи руководитель проекта действует согласно своим предпочтениям и тем, как состав задач и вариант распределения на задачи проекта влияет на трудоемкость PM выполнения IT-проекта в целом. Трудоемкость выполнения IT-проекта зависит от состава задач $Tasks = \{Task\}$ и характеристик исполнителей проектов $Participants = \{Participant\}$.

Выбор состава задач и варианта распределения исполнителей руководителем проектов определяется правилом индивидуального рационального выбора $P^{PM}(D, Tasks, Participants) \subseteq D$, которое выделяет множество наиболее предпочтительных, с точки зрения руководителя проектов, вариантов состава задач и распределения исполнителей на задачи.

Пусть $u=(team, distribution) \in U=TEAM \otimes D$ – вектор управления. Тогда целевая функция руководителя проектов, рассчитываемая на основе эволюционного моделирования при выборе управления $u \in U$ равна

$$PM(u) = EvModel(Tasks, Participants) \rightarrow \min.$$

Эффективность управленческого решения руководителя проектов без учета результатов эволюционного моделирования рассчитывается по формуле

$$K_m(u) = \frac{1}{PM_m(u)},$$

где $PM_m(u)$ – трудоемкость выполнения проекта без учета результатов эволюционного моделирования.

Эффективность управленческого решения руководителя проектов с учетом результатов эволюционного моделирования оценивается по формуле

$$K_{em}(u) = \frac{1}{PM_{em}(u)},$$

где $PM_{em}(u)$ – трудоемкость выполнения проекта с учетом результатов эволюционного моделирования.

Соответственно, задача повышения эффективности управления организационной системой IT-проекта заключается в поиске допустимого рационального управления, обеспечивающего

$$K_{em}(u) \rightarrow \max_{u \in U}$$

2. Схема эксперимента

Экспериментальная проверка эффективности применения комплексного системного подхода к решению задачи повышения эффективности управления организационными про-

цессами IT-проектов на основе эволюционного моделирования включает три основных этапа: предварительная обработка данных об участниках эксперимента, проведение эксперимента, обработка результатов эксперимента (рисунок 1).

На этапе подготовительной обработки данных об участниках эксперимента изучаются личностные и психологические качества кандидатов на участие в проекте [6] с использованием тестов Т. Кеннета [7] и Р. М. Белбина [8]. Тест Т. Кеннета выявляет способность к взаимодействию и стиль поведения в конфликтной ситуации при работе в команде. Тест Р. М. Белбина выявляет организаторские способности и командные роли участников эксперимента.

Для использования результатов психологического исследования при формировании команд исполнителей IT-проектов осуществляется их перевод в количественную оценку. Для оценки стиля поведения и командной роли участников проекта с точки зрения важности для поставленной цели проекта используется метод парных сравнений Т. Саати. Ранжирование результатов осуществляется методом кластерного анализа k -средних [9] на пять групп по количеству моделей поведения в команде по Т. Кеннету.

Для участников эксперимента, не принимавших ранее участия в проектах, уровень и опыт владения технологиями и инструментами определяется при помощи технических тестов. Для участников эксперимента, имевших опыт участия в команде разработчиков IT-проектов, уровень и опыт владения технологиями и инструментами определяется на основе анализа решения проектных задач.

Результатом этапа является информация о личностных и психологических качествах и уровне и опыте работы с технологиями и инструментами, необходимыми для реализации проекта для принятия решения о структуре и составе команд исполнителей.

На этапе проведения эксперимента формируется восемь команд исполнителей. Способы формирования структуры и состава команды исполнителей и распределения исполнителей на задачи приведены в таблице 1.

Критерием эффективности является трудоемкость выполнения проекта, которая оценивается по методике СОСОМО II.

Руководителем проекта определяются:

- методом парных сравнений Т. Саати параметры IT-проекта: гибкость процесса разработки, архитектура и разрешение рисков, зрелость процессов, сложность и надежность

продукта, разработка для повторного использования, сложность платформы разработки;
– путем сравнения с завершенными IT-

проектами объем программного кода;
– требуемые технологии и инструменты для реализации проекта.



Рис. 1. Схема эксперимента
Fig. 1 Diagram of the experiment

Таблица 1

Способы управления выполнением проектов

Table 1

Project execution management methods

Номер эксперимента	Способ формирования структуры команды	Способ формирования состава команды исполнителей	Способ распределения исполнителей на задачи
1	по методике СОСОМОП	с использованием алгоритма эволюционного моделирования	с использованием алгоритма эволюционного моделирования
2			исходя из опыта руководителя проекта
3		исходя из опыта руководителя проекта	с использованием алгоритма эволюционного моделирования
4			исходя из опыта руководителя проекта
5	исходя из опыта руководителя проекта	с использованием алгоритма эволюционного моделирования	с использованием алгоритма эволюционного моделирования
6			исходя из опыта руководителя проекта
7		исходя из опыта руководителя проекта	с использованием алгоритма эволюционного моделирования
8			исходя из опыта руководителя проекта

Для экспериментов с номерами 3, 4, 7, 8 руководитель проектов, исходя из личного опыта, определяет структуру команды исполнителей – общее число участников команды и число участников определенной функциональной роли: системного аналитика, дизайнеров, разработчиков, тестировщиков.

Для экспериментов с номерами 1, 2, 5, 6 структура формируется на основе методики СОСОМО II.

Состав четырех из восьми команд исполнителей, в соответствии с таблицей 1, формируется руководителем проектов с использованием информации, полученной на этапе предва-

рительной обработки данных об участниках эксперимента.

Состав остальных четырех команд формируется с использованием алгоритма формирования команд исполнителей на основе эволюционного моделирования.

В процессе реализации проекта в четырех командах из восьми (таблица 1) распределение исполнителей на задачи осуществляется руководителем проектов, в остальных четырех командах – на основе алгоритма эволюционного моделирования распределения исполнителей на задачи.

Результатом этапа являются расчетные данные о трудоемкости реализации проекта при различных способах формирования структуры и состава команд и распределения исполнителей проекта на задачи.

На третьем этапе проводится обработка результатов эксперимента. Для проверки отклонения результатов эксперимента от нормального распределения используется критерий Шапиро-Уилка [10].

Для оценки случайной погрешности результатов эксперимента рассчитывается стандартное отклонение и стандартная ошибка среднего. Проверка чувствительности результатов эксперимента к значениям исходных данных проводится для следующих параметров, характеризующих команду исполнителей: уровень владения технологиями и инструментами, опыт владения технологиями и инструментами, опыт аналогичных разработок, слаботанность команды.

Для проверки соответствия результатов вычислительного эксперимента результатам производственного эксперимента используется *t*-критерий Стьюдента [11].

Сравнительный анализ трудоемкости выполнения проекта при различных способах формирования структуры и состава команды исполнителей и распределения исполнителей на задачи проводится по результатам выполнения проектов восьмью командами, в которых управление процессом выполнения IT-проекта осуществляется в соответствии с таблицей 1.

3. Проведение эксперимента

Вычислительный эксперимент проводился с использованием разработанного программного комплекса [12]. Для проведения вычислительного эксперимента взяты результаты личностно-психологического тестирования 50 сотрудников IT-компании.

Выбран проект, реализация которых требу-

ет знания трех технологий T1, T2, T3.

Для проекта методом парных сравнений Т. Саати оценены параметры, используемые для расчета трудоемкости по методике СОСОМО II (таблица 2).

Таблица 2
Параметры проекта
Project Parameters

Параметр	Уровень	Значение
количество строк программного кода		15000
гибкость процесса разработки	Средний	3,04
архитектура и разрешение рисков	Средний	4,24
зрелость процессов	Средний	4,68
сложность и надежность продукта	нормальный	1,00
разработка для повторного использования	нормальный	1,00
сложность платформы разработки	нормальный	1,00
Оборудование	нормальный	1,00

В результате обработки данных психологического тестирования получены группы участников проектов, представленные в таблице 3.

Таблица 3
Результаты обработки данных психологического исследования

Table 3
Results of psychological research's data processing

Номер кластера	Номера участников проектов
1	1, 9, 17, 19, 23, 29, 31, 33, 34, 36, 41, 50
2	2, 3, 6, 14, 16, 27, 30, 32, 45
3	7, 20, 21, 25, 28, 37, 39, 40, 49
4	4, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 22, 24, 42, 44, 46
5	5, 8, 26, 35, 38, 43, 47, 48

Руководителем проекта принято решение формировать команды, состоящие из пяти человек. Структура команды следующая: один человек со знанием технологии T1, два человека со знанием технологии T2 и два человека со знанием технологии T3. Составы команд, сформированные руководителем проекта, представлены в таблице 4. В колонке «Расчетная трудоемкость» указана трудоемкость выполнения проекта для сформированных команд по методике СОСОМО II.

При формировании команды с применением методики СОСОМО II получена следующая структура: число участников команды – 5 человек, из них один человек со знанием

технологии Т1, три человека со знанием технологии Т2 и один человек со знанием технологии Т3.

Таблица 4
Составы команд исполнителей, сформированные руководителем

Table 4
The composition of the performers' teams formed by the head

Номер эксперимента	Номера участников команды исполнителей	Расчетная трудоемкость, РМ, чел.-дней.
3	7, 21, 39, 32, 49	64
4	24, 17, 15, 43, 4	60
7	23, 48, 28, 33, 15	50
8	24, 17, 15, 43, 4	60

Формирование состава команд осуществляется с использованием алгоритма эволюционного моделирования. Далее представлены шаги эволюционного моделирования для формирования команд №1 и №2. Начальная популяция, состоящая из шести команд, формируется случайным образом. В таблице 5 представлены результаты итераций алгоритма эволюционного моделирования.

Так как на четвертой итерации значение трудоемкости не улучшилось, алгоритм эволюционного моделирования закончил работу.

По результатам эволюционного моделирования для участия в эксперименте №1 отобрана команда №19 и команда №25 для эксперимента №2.

Таблица 5
Результаты итераций эволюционного моделирования при формировании команд исполнителей

Table 5
The results of evolutionary modeling's iterations in the formation of performers' teams

Номер итерации	Номер команды	Номера участников проектов	Расчетная трудоемкость, чел.-дней.
подготовительный шаг (начальная популяция)	1	24, 35, 43, 4, 2	48
	2	27, 17, 15, 26, 4	46
	3	7, 21, 30, 45, 3	64
	4	12, 21, 39, 32, 49	51
	5	28, 2, 6, 13, 43,	51
	6	22, 48, 28, 21, 15	50
1	2	27, 17, 15, 26, 4	50
	6	22, 48, 28, 21, 15	50
	8	7, 21, 30, 45, 3	51
	10	12, 18, 30, 45, 3	43
	11	28, 15, 6, 12, 43	51
	12	23, 48, 28, 33, 15	50
2	10	12, 18, 30, 45, 3	43
	14	28, 15, 30, 45, 3	43
	15	12, 18, 30, 45, 32	43
	16	27, 22, 15, 26, 4	50
	17	22, 48, 28, 21, 15	50
	18	23, 11, 28, 33, 41	41
3	15	12, 18, 30, 45, 32	43
	18	23, 11, 28, 33, 41	41
	19	23, 11, 28, 45, 3	36
	21	23, 11, 28, 33, 41	41
	22	12, 18, 25, 45, 3	41
	24	12, 18, 30, 38, 32	41
4	19	23, 11, 28, 45, 3	36
	24	12, 18, 30, 38, 32	41
	25	23, 11, 28, 45, 3	36
	26	12, 18, 25, 45, 3	41
	27	23, 50, 28, 9, 3	36
	28	12, 18, 10, 45, 3	41

Аналогично, по результатам эволюционного моделирования для эксперимента №5 сформирована команда, состоящая из участников с номерами 23, 36, 28, 9, 14 и трудоемкостью 40 чел.-дней, для эксперимента №6 – команда с номерами 12, 18, 10, 45, 2 и трудоемкостью 41 чел.-дней.

На этапе реализации проекта распределение исполнителей на задачи осуществляется в соответствии с таблицей 1. Руководителем проектов для каждой задачи определялся объем программного кода методом экспертных оценок, сложность и время выполнения – методом парных сравнений Т. Саати.

В таблице 6 приведены шаги эволюционно-го моделирования для распределения исполнителей на задачи для эксперимента №1 на

первой итерации. Предполагается, что первый по списку участник будет назначен на первую задачу, второй – на вторую и так далее.

Таблица 6

Результаты итераций эволюционного моделирования при распределении исполнителей на задачи

The results of evolutionary modeling's iterations in the allocation of performers to tasks

Table 6

Номер итерации	Номер варианта распределения	Последовательность назначения исполнителей на задачи	Расчетная трудоемкость, чел.-дней
подготовительный шаг (начальная популяция)	1	23,11,28,45,3	7,00
	2	28,45,3,23,11	8,00
	3	45,3,11,28,23	6,00
	4	11,3,28,23,45	6,50
	5	28,3,45,11,23	7,50
	6	45,28,3,23,28	7,75
1	3	45,3,11,28,23	6,00
	4	11,3,28,23,45	6,50
	7	45,3,11,28,23	6,00
	8	23,3,28,45,11	6,50
	9	45,3,28,11,23	5,75
2	10	11,3,28,45,23	6,00
	7	45,3,11,28,23	6,00
	9	45,3,28,11,23	5,75
	10	11,3,28,45,23	6,00
	11	23,3,28,11,45	6,75
	12	11,23,3,28,45	6,00
	13	45,3,28,23,11	5,75

На второй итерации эволюционного моделирования значение трудоемкости не улучшилось, поэтому алгоритм закончил работу. Наилучшим вариантом распределения на первой итерации реализации проекта в эксперименте №1 является вариант №9.

Для остальных итераций эксперимента №1 и экспериментов №3, 5, 7 распределение исполнителей на задачи осуществляется аналогично.

В экспериментах 2, 4, 6 и 8 распределение исполнителей на задачи проекта осуществлялось руководителем проектов.

4. Обработка результатов эксперимента

В результате проведения эксперимента на 25 учебных и внутренних проектах IT-компании, в которых формирование структуры и состава команд и распределение исполнителей на задачи осуществлялось с использованием предложенного метода, получены данные, представленные в таблице 7.

Для проверки распределения фактической трудоемкости на предмет соответствия нормальному закону по критерию Шапиро-Уилка используется математический пакет STATISTICA [13]. Результаты представлены на рисунках 2-3. Для критерия Шапиро-Уилка при $n=25$ и $p=0.05$ табличное значение p -

квантиля равно 0,918. Поскольку $W_{теор}=0,986>0,918$, $W_{факт}=0,9967>0,918$, гипотеза о нормальности выборок принимается.

По результатам расчета в математическом пакете STATISTICA с вероятностью $p=95\%$ большинство результатов эксперимента укладывается в диапазон $43,76\pm 7,15$, при этом ошибка среднего значения выборки составляет $43,76\pm 1,54$.

Соответствие результатов вычислительного эксперимента результатам производственного эксперимента проводилась по t -критерию Стьюдента для зависимых выборок. Проверялась гипотеза о близости средних значений теоретических и экспериментальных значений трудоемкости. Результаты расчетов представлены в таблице 8. Таблица содержат следующие столбцы:

- *Mean* – средние значения трудоемкости для каждой из сравниваемых групп;
- *Std. Dv.* – стандартные отклонения для каждой группы;
- *N* – число наблюдений;
- *Diff.* – средняя разница трудоемкости;
- *Std. dv. diff.* – стандартное отклонение для средней разницы;
- *t* – значение t -критерия;
- *df* – число степеней свободы;
- *P* – вероятность ошибочно отвергнуть нуле вую гипотезу о том, что средние величины

Таблица 7

Расчетные и экспериментальные значения трудоемкости выполнения проектов

Table 7

Calculated and experimental values of the projects' complexity

Номер проекта	Расчетная трудоемкость, PM , чел.-мес.	Фактическая трудоемкость, PM_f , чел.-мес.	Номер проекта	Расчетная трудоемкость, PM , чел.-мес.	Фактическая трудоемкость, PM_f , чел.-мес.
1	36	38	14	39	41
2	43	46	15	32	30
3	46	47	16	41	44
4	43	46	17	46	52
5	57	56	18	40	45
6	33	34	19	56	52
7	38	38	20	45	49
8	52	50	21	37	38
9	39	36	22	48	52
10	43	41	23	50	46
11	41	42	24	38	42
12	53	55	25	44	40
13	27	24			

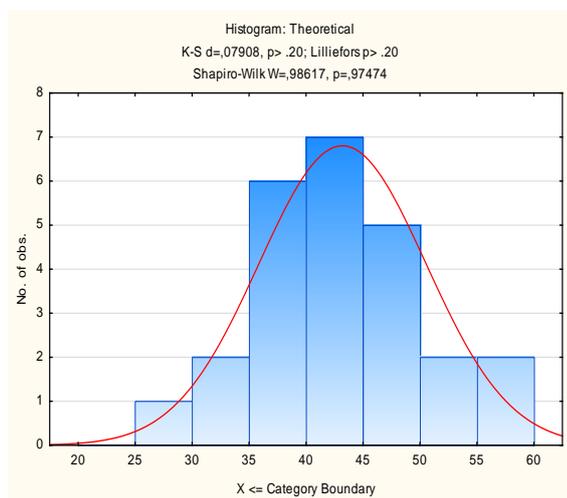


Рис. 2. Гистограмма распределения расчетной трудоемкости

Fig. 2. Histogram of the calculated labor intensity distribution

Поскольку $P > 0,05$, можно заключить, что средние значения трудоемкости, полученные теоретически и экспериментально существенно не различаются. Следовательно, гипотеза о близости средних значений теоретических и экспериментальных значений трудоемкости принимается, модель является адекватной.

Для оценки чувствительности результатов эксперимента к входным данным – уровень владения технологиями и инструментами, опыт владения технологиями и инструментами, опыт аналогичных разработок, сработанность команды для проекта с параметрами, приведенными в таблице 2, построены графи-

ки зависимости трудоемкости проекта от уровня параметров (рисунок 4).

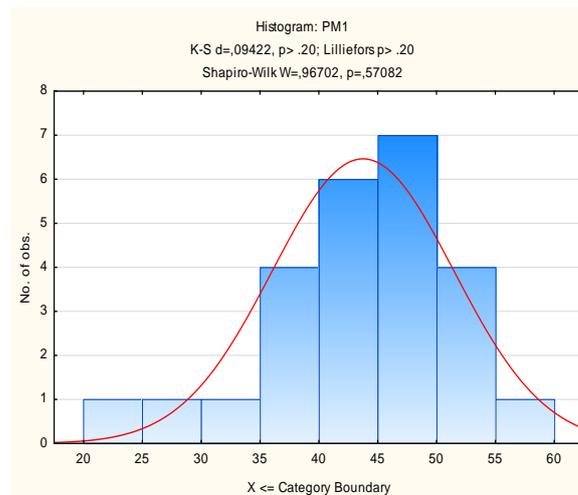


Рис. 3. Гистограмма распределения фактической трудоемкости PM_f

Fig. 3. Histogram of the actual PMF labor intensity's distribution

Из графика можно сделать вывод, что наибольшее влияние на трудоемкость выполнения проекта оказывают уровень владения технологиями и инструментами (PREC) и опыт владения технологиями и инструментами (PERS), меньшее влияние оказывает сработанность команды (TEAM), т.е. личностно-психологические качества и наименьшее влияние оказывает опыт аналогичных разработок (PREX).

T-test results for the values of theoretical and actual labor intensity of commercial projects

Сравниваемые группы	Mean	Std. Dv	N	Diff.	Std. Dv. Diff	T	df	p
расчетная трудоемкость	43,200	7,331						
фактическая трудоемкость	73,760	7,715	25	-0,56,	3,028	-0,924	14	0,364

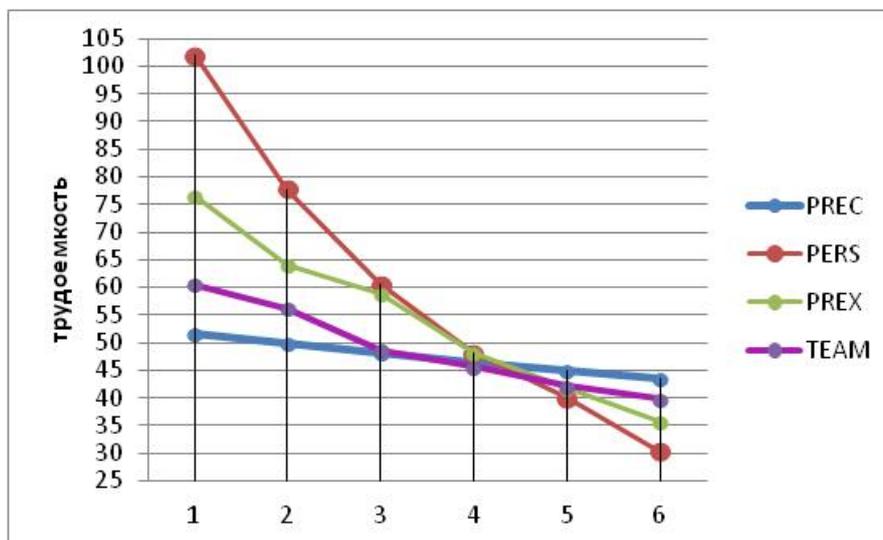


Рис. 4. Зависимость трудоемкости проекта от уровня входного параметра

Fig. 4. The dependence of the project's complexity on the level of the input parameter

По результатам вычислительного эксперимента получены данные, приведенные в таб-

лице 9. Номера экспериментов соответствуют таблице 1.

Значения трудоемкости на этапах формирования команд и распределения исполнителей на задачи

Labor intensity values at the stages of team formation and assignment of performers to tasks

Номер эксперимента	Расчетная трудоемкость по результатам формирования команд исполнителей, PM , чел.-дней.	Расчетная трудоемкость по результатам распределения исполнителей на задачи, PM_f , чел.-дней.
1	36	36,75
2	36	42
3	44	40,25
4	48	51
5	40	41,5
6	41	48
7	50	48,75
8	48	50,75

Анализ данных таблицы 8 показал, что на трудоемкость проекта оказывает влияние как рациональный состав команд исполнителей, так и рациональное распределение исполнителей на задачи.

С наименьшей трудоемкостью будет выполнен проект при использовании предложенного метода как при формировании команд исполнителей, так и при распределении исполнителей на задачи (эксперименты №1 и №5).

В экспериментах №2 и №6 значительное увеличение трудоемкости проекта произошло на этапе выполнения проекта. Данный результат подтверждает повышение эффективности распределения исполнителей на задачи при использовании эволюционного моделирования.

В экспериментах №3 и №7 более высокая трудоемкость проекта по сравнению с экспериментами №1 и №5 обусловлена менее эффективным выбором состава команды исполнителей по сравнению с результатами

решения данной задачи на основе эволюционного моделирования. При реализации проекта существенного изменения трудоемкости не произошло. Этому способствовало рациональное распределение исполнителей на задачи и использованием эволюционного моделирования в соответствии с уровнем и опытом владения технологиями и инструментами участниками команды.

Наихудший результат показали расчеты в экспериментах №4 и №7, в которых все решения принимались руководителем проектов без использования методов и средств эволюционного моделирования.

Заключение

Результаты экспериментальной проверки концепции, метода и алгоритмов комплексного повышения эффективности управления IT-проектами [1-3] подтвердили эффективность применения комплексной обработки информации о личностных и психологических качествах и профессиональных компетенциях с последующим формированием рационального состава команд исполнителей и распределения исполнителей на задачи с использованием средств эволюционного моделирования.

На основе экспериментальной оценки установлено, что погрешность ошибка среднего значения выборки составила 3,5%, проверка адекватности по *t*-критерию Стьюдента для зависимых выборок подтвердила гипотезу о близости средних значений теоретических и

экспериментальных значений трудоемкости, проверка выборки на соответствие нормальному закону распределения выполнялась на основе метода Шапиро-Уилка.

В результате вычислительного эксперимента установлено снижение трудоемкости решения задач IT-проекта на 28% между наилучшим и наихудшим вариантами при формировании состава команд и распределении исполнителей на задачи с применением концепции, метода и алгоритмов, предложенных в работах [1-3]. Наилучший вариант соответствует эксперименту №1 в котором формирование команд и распределение исполнителей на задачи выполнялось и использованием эволюционного моделирования, наихудший – эксперименту №8, в котором все решения принимались руководителем проектов без использования эволюционного моделирования.

Соответственно, предложенные в работах [1-3] концепция, метод и алгоритмы обеспечивают повышение эффективности управления IT-проектами и могут применяться для поддержки принятия решений руководителем проектов при формировании структуры и состава команд и распределения исполнителей на задачи. Перспективным направлением исследований является выявление патентоспособных идей, связанных с эргодизайнерским обеспечением групповой взаимосвязанной территориально-распределенной деятельности с учетом факторов совместимости и срабатываемости проектных групп [14].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Захарова А. А., Захарченков К.В., Вайнилович Ю.В. Повышение эффективности формирования проектных команд и распределения задач IT-проектов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении, 2020. Т.2020. №3(9). С. 45-55. DOI: [10.30987/2658-6436-2020-3-45-55](https://doi.org/10.30987/2658-6436-2020-3-45-55).
2. Zakharova A., Zaharchenkov K., Vajnilovich Yu. Integrated System Approach to Improving the Efficiency of IT Projects Management Based on Evolutionary Modeling. *Computing in Physics and Technology*. 2020. P. 309-314. DOI: [10.30987/conferencearticle_5fce27732298c9.93530561](https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce27732298c9.93530561)
3. Вайнилович Ю.В. Метод повышения эффективности управления IT-проектами с использованием генетического алгоритма // Информационные технологии, 2020. Т. 26. №12. С. 673–682. DOI: [10.17587/it.26.673-682](https://doi.org/10.17587/it.26.673-682).
4. Boehm B., et al. «Software cost estimation with COCOMO II». Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, 2000. 502 p. ISBN 9780130266927
5. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа ие-

REFERENCES

1. Zakharova A.A., Zakharchenkov K.V., Vainilovich Yu.V. Improving the Efficiency of Forming Project Teams and Distributing Tasks for IT Projects. *Avtomatizatsiya i modelirovaniye v dizayne i upravlenii* [Automation and Modeling in Design and Management], 2020, vol. 2020, no. 3(9), pp. 45-55. DOI: [10.30987/2658-6436-2020-3-45-55](https://doi.org/10.30987/2658-6436-2020-3-45-55).
2. Zakharova A., Zaharchenkov K., Vajnilovich Yu. Integrated System Approach to Improving the Efficiency of IT Projects Management Based on Evolutionary Modeling. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Computing in Physics and Technology*, 2020, pp. 309-314. DOI: [10.30987/conferencearticle_5fce27732298c9.93530561](https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce27732298c9.93530561).
3. Vainilovich Yu.V. A Method for Improving the Efficiency of IT Project Management Using a Genetic Algorithm. *Informatsonnyye tekhnologii* [Information Technologies], 2020, vol. 26, no. 12. pp. 673-682. DOI: [10.17587/it.26.673-682](https://doi.org/10.17587/it.26.673-682).
4. Boehm B., et al. Software Cost Estimation with COCOMO II. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2000. 502 p. ISBN 9780130266927.
5. Saati T.L. Decision Making. Hierarchy Analysis Method.

пархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с. ISBN 5-256-00443-3

6. **Вайнилович Ю.В.** Методика исследования личностных и психологических качеств участников для повышения эффективности формирования команд IT-проектов // Энергетика, информатика, инновации – 2020 (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями): сб. трудов X Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. Смоленск: «Универсум», 2020. В 3 т. Т 2. С. 302–305.

7. **Гришина Н.В.** Психология конфликта. 2-е изд. СПб.: Питер, 2008. 544 с. ISBN 978-5-91180-895-2.

8. **Белбин Р.М.** Типы ролей в командах менеджеров; [пер. с англ.]. М.: HIPPO, 2003. 220 с. ISBN 5982930059.

9. **Савченко Т.Н.** Применение методов кластерного анализа для анализа данных психологических исследований // Прикладная юридическая психология. 2008. №4. С. 100-111.

10. **ГОСТ Р ИСО 5479-2002.** Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. Введен 2002-07-01.

11. **Кобзарь, А.И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 816 с. ISBN 5-9221-0707-0.

12. **Вайнилович Ю.В., Захарченков К.В.** Программный комплекс многоуровневого управления IT-проектами // Инновации, 2019. № 8(250). С. 88–96. DOI: [10.26310/2071-3010.2019.250.8.014](https://doi.org/10.26310/2071-3010.2019.250.8.014).

13. **Боровиков В.П.** Программа Statistica для студентов и инженеров. М.: Компьютер пресс, 2000. 301 с. ISBN 5-89959-080-7.

14. **Spasennikov V., Golubeva G., Androsov K.** Ergonomic factors in patenting computer systems for personnel's selection and training // CEUR Workshop Proceedings. 30. Ser. "Graphi-Con 2020 - Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" 2020. DOI:10.51130/graphicon-2020-2-4-51.

Moscow: Radio i svyaz', 1993. 320 p. ISBN 5-256-00443-3.

6. **Vainilovich Yu.V.** Research Methods of Participants' Personal and Psychological Qualities to Improve the Efficiency of Forming IT Project Teams. Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference. Smolensk: "Universum", 2020. In 3 vol., vol. 2, pp. 302-305.

7. **Grishina N.V.** Psychology of Conflict. St. Petersburg: Pi-ter, 2008. 544 p. ISBN 978-5-91180-895-2.

8. **Belbin R.M.** Types of Roles in Management Teams. Moscow: HIPPO, 2003. 220 p. ISBN 5982930059.

9. **Savchenko T.N.** Application of Cluster Analysis Methods for the Analysis of Psychological Research Data. Prikladnaya yuridicheskaya psikhologiya [Applied Legal Psychology], 2008, no. 4. pp. 100-111.

10. **GOST R ISO 5479-2002.** National Standard of the Russian Federation. Statistical Methods. Tests for Departure of the Probability Distribution from the Normal Distribution. Introduced on the 1st of July 2002.

11. **Kobzar A.I.** Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists. Moscow: Fizmatlit, 2012. 816 p. ISBN 5-9221-0707-0.

12. **Vainilovich Yu.V., Zakharchenkov K.V.** Software Complex for Multi-Level Management of IT Projects. Innovatsii [Innovations], 2019, no. 8(250), pp. 88-96. DOI: [10.26310/2071-3010.2019.250.8.014](https://doi.org/10.26310/2071-3010.2019.250.8.014).

13. **Borovikov V.P.** Statistica Program for Students and Engineers. Moscow: ComputerPress, 2000. 301 p. ISBN 5-89959-080-7.

14. **Spasennikov V., Golubeva G., Androsov K.** Ergonomic Factors in Patenting Computer Systems for Personnel's Selection and Training. CEUR Workshop Proceedings. 30. Ser. "Graphi-Con 2020. Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" 2020. DOI: 10.51130/graphicon-2020-2-4-51.

Информация об авторах:

Юлия Викторовна Вайнилович

старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение информационных технологий»
Белорусско-Российского университета, Беларусь

Information about the authors:

Yu. V. Vainilovich

Senior Lecturer, Department of Information Technology
Software, Belarusian-Russian University, Belarus

Статья поступила в редакцию 25.01.2022; одобрена после рецензирования 07.02.2022;
принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted on 25.01.2022; approved after review on 07.02.2022; accepted for publication on 15.02.2022.

Рецензент – Киричек А.В., д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета, член ред-
совета журнала «Эргодизайн».

Reviewer - Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Technical University, member of
the Editorial Board of the journal "Ergodesign".