

Научная статья

УДК 519.8

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.1>

## СРАВНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ИТ-ПРОЕКТА В КОНТЕКСТЕ РАЗРАБОТКИ КАСКАДНЫХ И ГИБКИХ ПРОЕКТОВ

Максим Дергачев\*, Сальбек Бекетов, Алексей Гинцяк

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, [maksim.dergachev@spbpu.com](mailto:maksim.dergachev@spbpu.com), [salbek.beketov@spbpu.com](mailto:salbek.beketov@spbpu.com), [aleksei.gintciak@spbpu.com](mailto:aleksei.gintciak@spbpu.com)

\*Автор, ответственный за переписку: [maksim.dergachev@spbpu.com](mailto:maksim.dergachev@spbpu.com)

### Аннотация

В условиях цифровой трансформации одним из ключевых факторов успешной реализации ИТ-проектов становится формирование сбалансированных проектных команд. Цель исследования заключается в выявлении и сравнительном анализе инструментов, позволяющих учитывать специфику каскадной и гибкой методологий управления проектами. Объектом исследования выступает процесс подбора и распределения специалистов в командах ИТ-проектов. В качестве методов применялись критический обзор научных публикаций, сравнительный анализ моделей и инструментов командообразования, а также их систематизация по степени применимости к Agile и Waterfall. В ходе работы были выделены пять основных моделей (нечеткая когнитивная, регрессионная, системный анализ, алгоритм на основе грейдов и опыта, деревья компетенций) и шесть инструментов (экспертная оценка, теория игр, системный анализ, одно- и многокритериальная оптимизация, имитационное моделирование). Сравнение показало, что большинство подходов ориентировано на однокритериальную оптимизацию, в то время как применение многокритериальных методов для Waterfall остается ограниченным. Результаты исследования позволили установить методологический разрыв между гибкими и каскадными подходами, особенно в части учёта коммуникативных и динамических факторов. Сделан вывод о необходимости развития инструментов многокритериальной оптимизации для каскадных проектов, что повысит устойчивость и предсказуемость состава команд. Представленные материалы могут быть использованы руководителями проектов, HR-специалистами и исследователями в области управления командами.

**Ключевые слова:** методы оптимизации, формирование команды, ИТ-проекты, гибкая методология, каскадная методология.

**Цитирование:** Дергачев, М., Бекетов, С., Гинцяк, А., 2025. Сравнение Инструментов и Методов Формирования Команды ИТ-Проекта в Контексте Разработки Каскадных и Гибких Проектов. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 1. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.1>

Эта работа распространяется под лицензией [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Дергачев, М., Бекетов, С., Гинцяк, А., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*Research article*

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.1>

## COMPARISON OF TOOLS AND METHODS OF FORMING AN IT PROJECT TEAM IN THE CONTEXT OF CASCADING AND FLEXIBLE PROJECT DEVELOPMENT

Maxim Dergachev\*, Salbek Beketov, Aleksei Gintciak

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation, maksim.dergachev@spbpu.com, salbek.beketov@spbpu.com, aleksei.gintciak@spbpu.com

\*Corresponding author: maksim.dergachev@spbpu.com

### Abstract

In the context of digital transformation, the formation of well-balanced project teams has become one of the critical factors for the successful implementation of IT projects. The aim of this study is to identify and compare tools that take into account the specifics of both waterfall and agile project management methodologies. The object of the study is the process of selecting and allocating specialists within IT project teams. The research methodology included a critical review of scientific publications, comparative analysis of team formation models and tools, and their systematization according to their applicability to Agile and Waterfall approaches. The analysis identified five key models (fuzzy cognitive, regression, system analysis, grading and experience-based algorithm, skill trees) and six main tools (expert evaluation, game theory, system analysis, single- and multi-criteria optimization, simulation modeling). The comparison showed that most approaches focus on single-criteria optimization, while the use of multi-criteria methods for Waterfall projects remains limited. The results revealed a methodological gap between agile and waterfall practices, particularly in terms of communication and dynamic factors. The study concludes that the development of multi-criteria optimization tools for Waterfall projects is necessary to enhance team stability and predictability. The findings may be useful for project managers, HR specialists, and scholars in the field of project team management.

**Keywords:** IT-projects, optimisation methods, team formation, waterfall methodology, agile methodology.

**Citation:** Dergachev, M., Beketov, S., Gintciak, A., 2025. Comparison of Tools and Methods of Forming an IT Project Team in the Context of Cascading and Flexible Project Development. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 1. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.1>

This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Dergachev, M., Beketov, S., Gintciak, A., 2025. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

## 1. Введение

Развитие цифровой экономики и активная трансформация бизнес-процессов в последние десятилетия обусловили не только рост числа реализуемых IT-проектов, но и значительное усложнение их организационной структуры (Bukht, Heeks, 2017; George, Paul, 2020). Успех проектов информационных технологий напрямую зависит от человеческого фактора: квалификации специалистов, сбалансированности их компетенций, распределения ролей и качества взаимодействия внутри команды (Driskell, Salas and Driskell, 2018; Salas, Reyes and McDaniel, 2018; Mahmoudpour, Gholipour and Carmen Galang, 2025; (Pinto and Slevin, 1987). Несмотря на прогресс в области автоматизации процессов и применения интеллектуальных систем поддержки управления, именно формирование проектных команд остается одной из наиболее значимых и в то же время сложных задач современного управления IT-проектами.

В условиях высокой динамики внешней среды компании сталкиваются с необходимостью оперативно адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и запросам заказчиков, что, в свою очередь, подчеркивает актуальность проблемы выбора адекватных инструментов и методов формирования команд, позволяющих учитывать не только профессиональные компетенции участников, но и их личностные характеристики, уровень коммуникабельности, способность к совместной деятельности и потенциал развития (Driskell, Salas and Driskell, 2018; Salas, Reyes and McDaniel, 2018; Hoda, Noble and Marshall, 2012). Важным фактором становится необходимость формализованной оценки эффективности команд, которая позволяет прогнозировать результативность выполнения проекта и минимизировать управленческие риски.

Эффективное управление такими проектами включает в себя подбор оптимальной команды специалистов с использованием различных методов формирования команды (Dergachev and Beketov, 2024; (Luan and Xie, 2024). Выбор подходящего метода формирования команды позволяет повысить продуктивность работы, минимизировать риски и сократить сроки выполнения проекта (Pinto and Slevin, 1987). Однако необходимо учитывать соответствие выбранного инструмента методологии разрабатываемого проекта, поскольку каждая методология обладает своими особенностями и ограничениями.

Традиционная каскадная модель характеризуется строгой последовательностью этапов, высокой степенью формализации и необходимостью тщательного планирования ресурсов на ранних стадиях (Rouse, 1987). В таких условиях формирование устойчивой и предсказуемой команды является критически важным фактором успеха. Гибкие методологии, напротив, предполагают итеративность разработки, постоянную обратную связь с заказчиком и способность команды к быстрой адаптации (Serrador and Pinto, 2015; Vidgen and Wang, 2009; Chow and Cao, 2008; Dingsøyr, Moe and Seim, 2018; Sutherland and Sutherland, 2014; Conforto et al., 2014). В проектах с данной методологией ценность приобретают такие аспекты, как кросс-функциональность, самоорганизация, распределенное лидерство и высокая степень вовлеченности участников (Poppendieck and Poppendieck, 2003; Hoda, Noble and Marshall, 2012; Boehm and Turner, 2003). Следовательно, выбор инструментов формирования команды должен быть обусловлен не только характеристиками специалистов, но и спецификой используемой методологии управления.

Существующие исследования в данной области предлагают широкий спектр методов – от экспертных оценок и системного анализа (Mesarovic and Takahara, 1975) до имитационного

моделирования, алгоритмов оптимизации (Deb et al., 2002; Luan and Xie, 2024) и применения элементов теории игр (Myerson, 2013). Однако анализ показывает, что значительная часть этих методов фокусируется преимущественно на однокритериальной оптимизации (например, сроков или стоимости проекта), что ограничивает их применимость в условиях реальных проектов, где необходимо учитывать комплекс факторов. Более того, многие из рассмотренных моделей либо недостаточно адаптированы к гибким методологиям, либо не учитывают специфики каскадного подхода, что формирует методологический разрыв и снижает эффективность управленческих решений (Vidgen and Wang, 2009; Luan and Xie, 2024; Boehm and Turner, 2003).

Научная новизна исследования заключается в постановке задачи комплексного анализа и сопоставления инструментов формирования команд IT-проектов в контексте двух ключевых методологий – каскадной и гибкой. С практической точки зрения актуальность обусловлена необходимостью разработки и внедрения методов, обеспечивающих многокритериальную оптимизацию состава команды, что позволяет учитывать не только производственные показатели, но и факторы взаимодействия, доверия, распределения ролей и компетентностного соответствия.

Целью настоящего исследования является анализ существующих методов и моделей формирования команд IT-проектов, выявление их преимуществ и ограничений, а также определение возможностей их применения в зависимости от используемой методологии управления проектом.

## 2. Материалы и методы

### 3.1. Исходные данные

Объектом исследования выступает процесс формирования проектных команд в сфере информационных технологий при реализации проектов по каскадной и гибкой методологиям. Предмет исследования – совокупность методов и инструментов, позволяющих оценивать компетенции специалистов, распределять их по ролям и прогнозировать результативность работы команды.

В качестве методологической базы исследования использовался комплексный подход, включающий анализ литературы, в частности, критический обзор современных публикаций, посвященных моделям командообразования в IT-проектах. Помимо данного подхода применялся сравнительный анализ методов – оценка существующих моделей (когнитивные модели, регрессионный анализ, системный анализ, алгоритмы распределения, деревья компетенций, имитационное моделирование) с точки зрения их применимости к Waterfall и Agile.

На первом этапе исследования был проведён критический анализ публикаций по проблеме формирования команд в IT-проектах.

На следующем этапе для дальнейшего изучения были выделены пять базовых моделей:

- нечеткая когнитивная модель оценки компетенций;
- регрессионная модель предиктивного анализа;
- системный анализ с комплексным подбором специалистов;
- моделирующий алгоритм, основанный на грейдах и опыте;

- модель деревьев профессиональных навыков.

И шесть основополагающих инструментов:

- Экспертная оценка
- Теория игр
- Системный анализ
- Однокритериальная оптимизация
- Многокритериальная оптимизация
- Имитационное моделирование

Далее методы сравнивались друг с другом, оценивалась их основная идея, преимущества и недостатки, а у инструментов оценивалась применимость к Agile и Waterfall проектам. Сравнение представлено в таблицах.

### 3. Результаты

Существует несколько методов и моделей, помогающих эффективно организовать работу команды и обеспечить успешное выполнение IT-проекта. Эти методы и модели основаны на различных подходах к управлению проектами, подбору персонала, распределению ролей и обязанностей, а также оценке компетенций.

Модель формирования команды может базироваться на использовании нечеткой когнитивной модели оценки компетенций (Azhmuhamedov and Azhmuhamedov, 2011), которая нацелена на оптимальный подбор команды из множества кандидатов и распределение их по задачам проекта таким образом, чтобы минимизировать разрыв между требуемыми для выполнения задач компетенциями и фактическими компетенциями исполнителей. Процесс формирования команды в рамках данной модели состоит из двух этапов. На первом этапе проводится тщательная оценка уровня компетенций каждого кандидата с использованием технологий тестового контроля, результаты которого затем оцениваются группой экспертов, что позволяет получить объективную картину профессиональных навыков и знаний каждого претендента. На втором этапе, основываясь на анализе данных, полученных на первом этапе, осуществляется отбор наиболее подходящих исполнителей для реализации каждой конкретной задачи проекта. Важной особенностью методики является возможность варьирования весов связей (дуг), соединяющих концепты нечеткой когнитивной модели. Такие изменения позволяют адаптировать модель под конкретные требования проекта и целенаправленно подбирать специалистов с необходимыми компетенциями. Такой подход предоставляет кадровым службам более обоснованный и целенаправленный механизм подбора персонала. В целом, эта модель предполагает не только оценку, но и последующее развитие компетенций каждого члена команды для определения сильных и слабых сторон каждого сотрудника и распределения задач таким образом, чтобы максимально использовать потенциал каждого, создавая сбалансированную команду, где каждый вносит свой вклад в общий успех проекта.

Предиктивный метод определения результативности команды IT-проекта может реализоваться с применением регрессионного анализа (Afonin, 2020). Данный метод нацелен на прогнозирование результативности команды IT-проекта на основе анализа корреляции между характеристиками команды и результатами ее деятельности. Модель, использующая

регрессионный анализ, стремится определить, какие именно характеристики команды оказывают наибольшее влияние на ее успешность. Для проведения оценки используется специализированный электронный ресурс, анализирующий множество различных параметров, характеризующих команду. Данные о характеристиках команд собираются с помощью анкетирования, а полученные результаты нормализуются и анализируются с использованием регрессионного анализа, например, в программном обеспечении Excel. Это позволяет выявить статистически значимые связи между составом команды и ее производительностью.

Другой подход заключается в использовании модели формирования команды, основанной на системном анализе и комплексном подходе к подбору специалистов (Khitrova, Ovanesyana and Nizovtseva, 2020). Модель включает в себя детальный анализ требований проекта, определение необходимых ролей и компетенций, а также тщательную оценку и отбор кандидатов на основе их профессиональных навыков, опыта и личностных качеств. Особое внимание в этой модели уделяется сбалансированному распределению ролей внутри команды, что способствует оптимизации взаимодействия между участниками, минимизации конфликтов и повышению общей эффективности работы. Системный подход позволяет учитывать взаимосвязи между различными элементами команды и проекта, что способствует созданию более устойчивой и работоспособной структуры.

Определять эффективность составленной команды можно также с использованием моделирующего алгоритма, который принимает на вход такие параметры, как функциональная роль сотрудника, коэффициент его эффективности, определяемый «грейдом» (уровнем квалификации), и опыт работы (Khadzhieva, 2018). Алгоритм сначала определяет необходимое количество команд и сортирует всех разработчиков по их эффективности. Затем разработчики распределяются по командам таким образом, чтобы в каждой команде присутствовали как сильные, так и менее опытные разработчики. Такой подход позволяет сбалансировать силы внутри команд, обеспечить передачу знаний и опыта, а также создать более устойчивые и эффективные рабочие группы.

Еще один подход к формированию команды IT-проекта — это моделирование с применением деревьев профессиональных навыков (Shushkov, 2008). Каждый сотрудник описывается набором параметров, включающих его должность, профессиональные навыки и процент занятости в других проектах. Профессиональные навыки и умения каждого сотрудника организуются в виде дерева компетенций, где корни и ветви представляют различные уровни навыков (например, базовый, средний, продвинутый), а листья — конкретные навыки с максимальным весом, указывающим на экспертный уровень владения. Заказ на проект также описывается в виде дерева задач, где каждая задача имеет определенные требования к навыкам и количество человеко-часов, необходимых для ее выполнения. Сопоставление деревьев навыков сотрудников с деревом задач проекта позволяет определить, насколько команда соответствует требованиям проекта и какие навыки необходимо усилить или привлечь дополнительно.

Сравнение данных методов и подходов к формированию команды IT-проекта приведено в таблице 1.

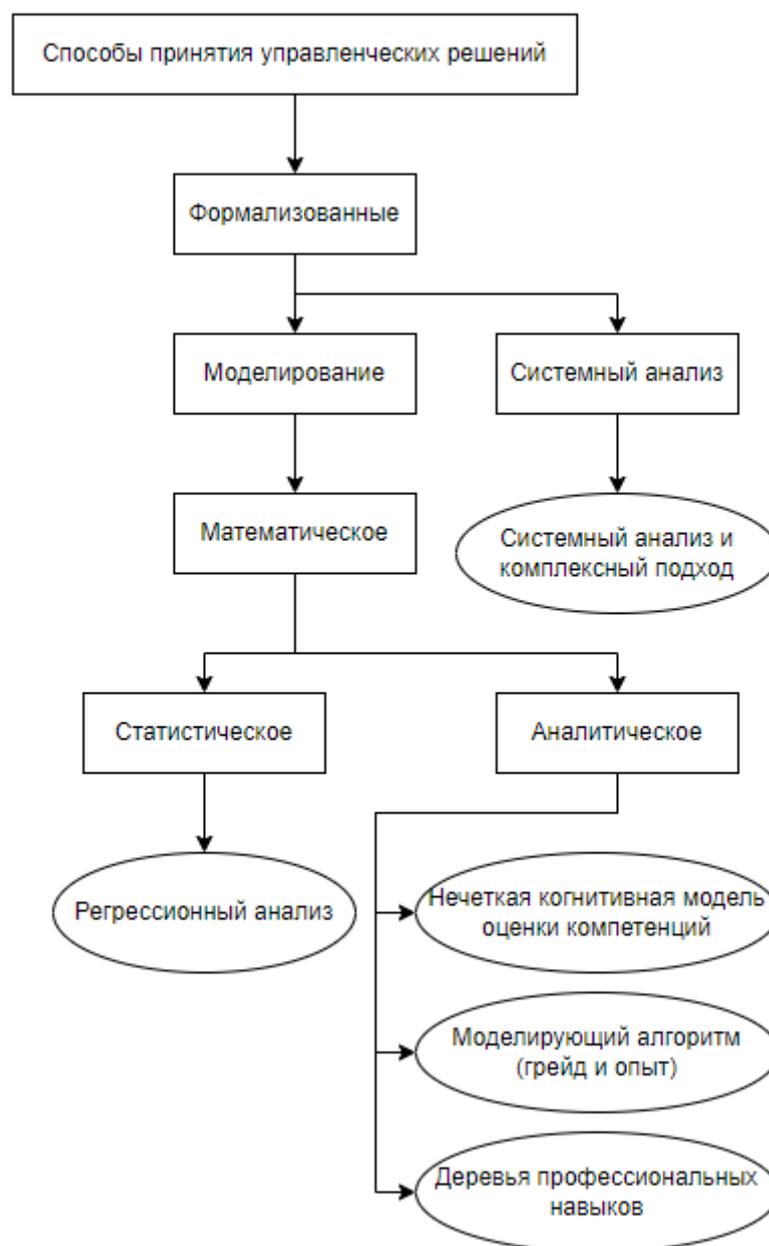
**Таблица 1.** Сравнение подходов к формированию команды IT-проекта

Метод/Модель	Основная идея	Преимущества	Недостатки
Нечеткая когнитивная модель оценки компетенций	Минимизация разрыва между требуемыми и фактическими компетенциями кандидатов.	Целенаправленный подбор специалистов, возможность адаптации модели под конкретные требования, учет развития компетенций.	Сложность формализации экспертных оценок, субъективность оценки компетенций, статичность модели (не учитывает динамику развития компетенций во времени).
Регрессионный анализ (предиктивный метод)	Прогнозирование результативности на основе корреляции характеристик команды и результатов.	Возможность выявления факторов, влияющих на результативность, опора на статистические данные.	Зависимость от качества и объема данных, сложность учета неформальных факторов, влияющих на результативность (например, командный дух), корреляция не всегда означает причинно-следственную связь.
Системный анализ и комплексный подход	Анализ требований проекта, определение ролей и компетенций, сбалансированное распределение ролей.	Комплексный учет требований, ролей и компетенций, акцент на взаимодействии внутри команды.	Сложность формализации системного анализа, субъективность оценки соответствия кандидатов требованиям, отсутствие четких критериев сбалансированности.
Моделирующий алгоритм (грейд и опыт)	Распределение разработчиков по командам с учетом грейда и опыта для создания сбалансированных команд.	Простота реализации, учет опыта и квалификации разработчиков, создание команд с разным уровнем подготовки.	Упрощенный подход к оценке эффективности (только грейд и опыт), не учитывает другие важные факторы, такие как личностные качества, коммуникабельность, специализация, не учитывает динамику развития команды.
Деревья профессиональных навыков	Сопоставление дерева компетенций сотрудников с деревом задач проекта	Наглядное представление компетенций и требований, возможность выявления	Сложность построения и актуализации деревьев компетенций и задач, статичность модели, не

Метод/Модель	Основная идея	Преимущества	Недостатки
	для определения со-ответствия требованиям.	недостающих навы-ков.	учитывает динамику развития навыков и изменение требований проекта, не учитывает взаимодействие в ко-манде, а фокусируется только на наличии необ-ходимых навыков у отдельных сотрудников, не учитывает распреде-ление ролей, а только наличие компетенций.

Исходя из сравнения видно, что большинство методов учитывают различный уровень компетенций сотрудников, однако не во всех подходах применяется ролевая структура команды вместе с их уровнем навыков. Помимо этого, учитываются требования самого проекта по составу команды. Деревья компетенций позволяют определить несоответствие команды требованиям в конкретном аспекте. Коммуникационную составляющую учитывает только метод, основанный на системном анализе, несмотря на ее влияние на производительность команды и необходимость ее учета в процессе формирования команды.

Рассмотренные в исследовании модели и методы формирования команд могут быть встроены в существующую классификацию способов принятия управленческих решений (Dergachev and Beketov, 2025). Системный анализ занимает место в группе формализованных методов как самостоятельный подход. Среди математических моделей статистическое направление представлено регрессионным анализом, а аналитическое направление включает такие методы, как нечеткая когнитивная модель, моделирующий алгоритм на основе грейдов и опыта и деревья профессиональных навыков, которые позволяют формализовать процесс сопоставления компетенций и проектных задач. Встроенные в классификацию методы и модели представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Встроенные в классификацию методы и модели

Помимо представленных моделей существует большое количество инструментов для решения схожих задач (Dergachev and Beketov, 2024). Среди формализованных методов принятия решений выделяют экспертные оценки, системный анализ и различные виды моделирования, в том числе аналитическое и имитационное.

При формировании команды с помощью оценок экспертов привлекаются специалисты с опытом в области IT. С их помощью производится анализ требований проекта и подбирается оптимальный состав команды. Эксперты оценивают различные компетенции кандидатов, их уровень квалификации, креативность, опыт и способность работы в команде. Недостатком этого метода является присутствующая субъективность оценки из-за влияния человеческого фактора при анализе кандидатов.

Применение системного анализа рассматривает команду как сложную систему и в процессе формирования которой необходимо учитывать множество взаимосвязанных факторов. При этом подходе производится моделирование структуры команды, определение ключевых компетенций, анализ взаимозависимости ролей и оценку потенциальных рисков. Использование системного анализа позволяет рассмотреть задачу формирования команды максимально подробно, что предоставляет хороший результат, однако требует огромного количества затраченных ресурсов и информации, что не всегда возможно в контексте управления современными IT-проектами.

Использование теории игр при формировании команды подразумевает собой анализ стратегий взаимодействия между участниками, учитывающие интересы, мотивация, возможности сотрудничества и конкуренции отдельных членов команды. С помощью теоретико-игровых моделей возможно предсказывать поведение участников при межличностном взаимодействии, оптимально распределить роли в команде, что способствует продуктивной работе над IT-проектом. В частности, этот метод полезен при нахождении баланса между личными интересами участников и эффективностью команды в целом.

Формирование команды может осуществляться с использованием математических методов однокритериальной оптимизации. Данный подход используется при необходимости оптимизировать команду для максимизации или минимизации одного критерия, таких как максимальной производительности, минимальной стоимости, минимальных рисках или наибольшего инновационного потенциала. В качестве примера такого метода может быть приведено линейное программирование. Оно позволяет оптимизировать целевую функцию, в данном случае значение выбранного критерия, с учетом различных ограничений. Такой подход возможен при наличии четкого приоритета, однако он не учитывает взаимодействие между членами команды, динамику развития команды и другие важные аспекты.

Многокритериальная оптимизация, в отличие от предыдущего метода, учитывает набор конкретных критериев, таких как стоимость содержания команды, срок выполнения проекта, взаимодействие между участниками, на основе которых формируется команда. Такой подход позволяет соблюсти баланс между различными факторами, сравнить альтернативные варианты и найти компромиссное решение, благодаря чему получается более сбалансированная команда. Примером такого подхода может быть Парето-оптимизация, при котором ни один показатель системы не может быть улучшен без ухудшения какого-либо другого показателя, предоставляя набор оптимальных составов команд для выбора соотношения между значениями выбранных критериев.

Имитационное моделирование заключается в создании симуляции команды определенного уровня абстракции. Данный вид инструмента дает возможность прогнозировать исход выполнения проекта в зависимости от начальной команды, что позволяет делать выводы по поводу ее состава и необходимости внесения изменений. Использование агентного моделирования или систем динамического моделирования помогает анализировать взаимодействие участников, тестировать различные сценарии реализации проекта и оценивать влияние изменений состава команды на успешность проекта. Данный метод позволяет выявить возможные проблемы и улучшить процессы управления командой до начала реализации IT-проекта.

В современных IT-проектах для управления на данный момент лидирует различные реализации методологии Agile, подход которой заключается в итеративной разработке,

адаптации к изменениям и тесном взаимодействии с заказчиком. В связи с этим описанные методы и модели, основанные на базе этих методов, больше применяются в данной методологии и более проработаны именно для нее. Примеры использования методов при формировании команды в методологиях Waterfall и Agile приведено в таблице 2.

**Таблица 2.** Применимость инструментов формирования команды в различных методологиях

	Waterfall	Agile
<b>Экспертная оценка</b>	(Beilkhanov and Kvyatkovskaya, 2012; Ampuero and Abreu, 2021; Raibulet and Fontana, 2018)	
<b>Теория игр</b>	(Gintciak, 2023; Vaida, 2019)	(Nikitina et al., 2023; Vershinina, Zvereva and Shabunin, 2024)
<b>Системный анализ</b>	(Zzkarian and Kusiak, 1999; Afolabi, Chukwurah and Abieba, 2025)	
<b>Однокритериальная оптимизация</b>	(Dehghani and Trojovský, 2021; Daniel and Odon, 2021)	(Kuz'mina and P'yankova, 2024; Song and Paczek, 2023)
<b>Многокритериальная оптимизация</b>	—	(Zhang and Zhang, 2013; Qu et al., 2023)
<b>Имитационное моделирование</b>	(Saravanos and Curinga, 2023; Bassil, 2012)	(Lunesu et al., 2021; Cao, Ramesh and Abdel-Hamid, 2010; White, 2014)

Метод экспертных оценок основан на сборе мнений экспертов для формирования количественных и качественных оценок кандидатов. Он применяется при сложном выборе из множества альтернатив и требует формализованных критериев оценки. В статье (Beilkhanov and Kvyatkovskaya, 2012) в качестве критериев приводится множество  $K$  состоящее из  $k_1$  (знание принципов ООП),  $k_2$  (освоенные языки программирования),  $k_3$  (опыт программирования) и  $k_4$  (участие в командных проектах). Далее эксперты присваивают значения этим критериям и упорядочивают их по важности. После этого производится оценка погрешности и вычисление итогового показателя конкретного кандидата с помощью математического метода SMART. На третьем этапе оценивается надежность с помощью модели доверия кандидатов относительно друг друга и делается вывод о целесообразности включения кандидата в команду. Данный подход позволяет формировать команду при наличии большого количества условий и ограничений, он учитывает конкретные особенности реализуемого проекта, благодаря чему он может быть адаптирован и к другим проектам, однако субъективность оценок может послужить причиной ошибочности результирующего состава команды и привести к провалу проекта. Помимо этого, эксперты должны обладать достаточным уровнем знаний и компетенций в данной области для точности оценивания. Данный метод применим и в каскадных, и в гибких методологиях.

Теоретико-игровые инструменты рассматривают процесс формирования команды как игру, в которой у агентов (членов команды, управляющего) есть возможность придерживаться одной из набора стратегий.

В статье (Gintciak, 2023) рассмотрено моделирование проекта с применением данного инструмента. В качестве участников выступают члены команды проекта. Помимо этого, описаны шаги для реализации частной модели, которая применима к формированию команды IT-проекта по каскадной методологии. Данный метод позволяет формировать команду с учетом стратегического поведения участников, что особенно важно для распределенных и кросс-функциональных IT-команд, однако сложность вычислений и необходимость точного определения параметров игроков могут стать ограничением. В статье (Nikitina et al., 2023) в качестве агентов выступают следующие типы участников команды: «делает вид, что ищет», «ищет самостоятельно», «ищет совместно с другими участниками команды». В результате моделирования игры получаются оценки данного набора команды, состоящей из различных типов агентов.

Метод аналитического иерархического процесса (АИП) и развертывания функции качества (QFD) основан на системном анализе требований проекта и инженерных характеристик для формирования оптимального состава команды. В статье (Zzkarian and Kusiak, 1999) предлагается использовать QFD-матрицу для сбора данных о потребностях клиентов и инженерных требованиях, а затем применять АИП для построения иерархической модели с уровнями: цель, критерии, кандидаты. Для оценки важности инженерных характеристик и кандидатов проводится парное сравнение, после чего формируется математическая модель целочисленного программирования, позволяющая оптимально распределить участников по ролям. Данный метод обеспечивает объективный выбор кандидатов, учитывает как технические, так и «мягкие» факторы (например, лидерство и командные ценности) и позволяет адаптировать команду под разные проекты. Однако он требует значительных вычислительных ресурсов, а процесс сравнений может быть трудоемким. Метод применим в гибридных подходах, таких как Scrum + Lean, SAFe, а также в более структурированных методологиях, например, Waterfall.

Метод однокритериальной оптимизации, представленный в статье (Dehghani and Trojovský, 2021), основан на алгоритме оптимизации командной работы (ТОА), который моделирует взаимодействие членов команды для минимизации или максимизации функции. В ТОА каждый агент рассматривается как член команды, который обучается у более опытных участников (включая «супервайзера» – наиболее эффективного члена). Алгоритм включает три этапа: 1) руководство супервайзера, 2) обмен информацией между членами команды и 3) индивидуальная активность для улучшения показателей. Такой подход позволяет эффективно находить квази-оптимальные решения сложных задач, избегая локальных минимумов. ТОА демонстрирует высокую скорость сходимости и конкурентоспособность по сравнению с классическими алгоритмами оптимизации (например, PSO, GA). Однако его недостатком является необходимость тонкой настройки параметров и возможная неэффективность на задачах с сильно ограниченным пространством поиска.

Метод однокритериальной оптимизации основан на определении ключевого показателя эффективности команды и его максимизации или минимизации в зависимости от целей проекта. В статье (Kuz'mina and P'yankova, 2024) рассматривается подход к формированию кросс-функциональной команды и расчету ее скорости, который позволяет оценить предельную нагрузку команды и оптимально распределить задачи. В качестве критерия оптимизации используется трудозатрата на спринт, рассчитываемые по формуле с учетом количества членов команды, их продуктивности, рабочего времени и влияния митингов. Оптимизация

проводится путем нахождения такого состава команды и распределения нагрузки, которые обеспечивают максимальную эффективность без перегрузки. Метод позволяет повысить предсказуемость выполнения задач и сбалансировать ресурсы, однако требует корректировки в зависимости от специфики команды (например, уровня компетенций участников). Он наиболее применим в гибких методологиях, таких как Scrum и Kanban, где важно учитывать производительность команды в спринтах.

Метод многокритериальной оптимизации, представленный в статье (Zhang and Zhang, 2013), основан на использовании культурного алгоритма (МОСА) для формирования команд в социальных сетях с учетом нескольких факторов: стоимости коммуникации, уровня экспертности, коллективного доверия и географической близости. В модели вводятся динамические показатели, учитывающие временные изменения экспертности и затрат на коммуникацию, а также новая формула для оценки доверия через профильное сходство и эмоциональный интеллект. Метод позволяет находить оптимальные команды, но требует значительных вычислительных ресурсов. Он применим в гибких методологиях управления проектами, таких как Scrum и Kanban.

Имитационное моделирование основано на создании дискретно-событийной модели для оценки времени завершения проекта и оптимизации распределения ресурсов. В статье (Saravanos and Curinga, 2023) используется Python и фреймворк SimPy для симуляции каскадной модели разработки, где проекты разделяются на этапы анализа, проектирования, реализации, тестирования и поддержки. На первом этапе задаются начальные параметры ресурсов (аналитики, дизайнеры, программисты и т.д.) и длительность этапов. Затем запускается симуляция для выявления узких мест. На финальном этапе анализируются результаты, включая время завершения проекта и вероятность ошибок на каждом этапе. Данный метод позволяет точно прогнозировать сроки и минимизировать простои. Однако он требует глубокого понимания процессов разработки и точности в настройке модели, а также может быть ограничен предположениями, не всегда соответствующими реальным условиям.

В статье (Lunesu et al., 2021) симулятор использует данные из JIRA для моделирования Agile-процессов и выполняет стохастическое моделирование с помощью метода Монте-Карло. На первом этапе данные о задачах, разработчиках и их навыках импортируются из JIRA, затем задаются параметры риска, такие как ошибки в оценке усилий и случайное распределение задач. После запуска множества симуляций анализируются ключевые показатели, такие как время завершения проекта и количество реализованных задач, с учетом их распределения и перцентилей.

Данные методы представляют различные подходы к формированию команды IT-проекта. Экспертная оценка, теория игр и системный анализ предлагают структурированные способы выбора кандидатов, однако экспертная оценка подвержена субъективности, а теория игр требует сложных вычислений. Системный анализ обеспечивает объективность за счет математических моделей, но является ресурсозатратным.

Методы однокритериальной и многокритериальной оптимизации, а также имитационного моделирования обеспечивают оптимизацию состава проектной команды, предлагая сбалансированный подход между точностью расчетов и вычислительной сложностью. Помимо этого, в эти методы могут быть интегрированы различные инструменты как, например, метод Монте Карло.

Исходя из таблицы можно сделать вывод, что большинство методов применяются как в проектах, реализуемых по каскадной методологии, так и по гибким методологиям. Однако в результате анализа литературы был выявлен пробел в области применения многокритериальной оптимизации в проектах, управляемых по каскадной методологии.

#### 4. Обсуждение

Полученные результаты позволяют выявить несколько значимых закономерностей в области формирования команд IT-проектов. Прежде всего, было установлено, что подавляющее большинство подходов сфокусировано на решении задач однокритериальной оптимизации. Такие методы, ориентированные, например, исключительно на сокращение сроков или снижение стоимости, действительно позволяют получить быстрое и формально корректное решение, однако они оказываются излишне ограниченными в условиях реальных проектов. Практика показывает, что узкая настройка по одному критерию способна привести к нежелательным побочным эффектам, например ухудшению качества коммуникаций или росту организационных рисков. Особенно критичным это становится для проектов, реализуемых по каскадной модели, где изменение состава команды после этапа планирования практически невозможно. Отдельного внимания заслуживает тот факт, что коммуникационный фактор системно недоучитывается большинством существующих моделей. Из проанализированных подходов лишь системный анализ в явном виде закладывает коммуникативную составляющую в качестве переменной. Остальные методы ограничиваются косвенными оценками или вообще игнорируют этот аспект, что повышает вероятность формирования команды, которая будет обладать нужным набором компетенций, но окажется неспособной эффективно взаимодействовать. В условиях гибких методологий данный недостаток отчасти компенсируется итеративностью и ретроспективами, однако в Waterfall-проектах это ограничение приобретает принципиальное значение.

Выявлена и ещё одна важная особенность: большинство моделей статичны по своей природе. Деревья навыков и нечеткие когнитивные модели дают удобный «моментальный снимок» состояния команды, но плохо отражают динамику роста или угасания компетенций, эффекты наставничества и перераспределение ролей. Именно поэтому их прогностическая точность снижается на длинных горизонтах планирования и требует сочетания с имитационным моделированием либо периодической перекалибровки параметров. Регрессионные и иные предиктивные модели также обладают очевидными ограничениями. Их результаты сильно зависят от качества исходных данных и часто фиксируют лишь корреляции, не раскрывая причинно-следственных связей. В условиях подбора проектных команд это приводит к консервации устоявшихся паттернов и формированию предубеждений против новых организационных практик, которые не находят подтверждения в исторических данных. Особую критику заслуживают алгоритмы распределения участников по командам на основе грейдов и опыта. Несмотря на простоту и удобство, такие алгоритмы чрезмерно упрощают действительность: они игнорируют специализации, личностную совместимость, а также межкомандные зависимости. В результате организации могут получать локально оптимальные решения, которые не обеспечивают устойчивости на уровне портфеля проектов.

Наиболее значимый вывод исследования заключается в том, что многокритериальная оптимизация, активно развивающаяся в контексте Agile, остается практически неразработанной для каскадных проектов. Ситуация выглядит парадоксально, поскольку именно Waterfall характеризуется высокой зависимостью от устойчивости и предсказуемости состава команды, а

значит, требует комплексного учета множества факторов еще на ранних стадиях проектирования. Результаты сопоставления согласуются с международной научной повесткой. В последние годы активно обсуждаются проблемы межкомандных зависимостей и ограниченность метрик, ориентированных исключительно на внутригрупповые показатели. Исследования в области психологической безопасности, доверия и командного взаимодействия демонстрируют их прямое влияние на результативность, однако эти аспекты редко включаются в формальные модели подбора. В работах, посвященных интеграции гибких практик в каскадные среды, фиксируется методологический разрыв между документально ориентированным управлением и итеративной реализацией. Таким образом, данное исследование уточняет международный дискурс, показывая, где именно известные подходы оказываются непригодными, и какие характеристики должны иметь модели, чтобы быть эффективными в Waterfall-контексте.

Вместе с тем необходимо обозначить ограничения проведенного анализа. Прежде всего, исследование имеет аналитико-сравнительный характер: предметом рассмотрения стали сами методы и модели, а не полевые эксперименты по формированию реальных команд. Поэтому сделанные выводы носят методологический и архитектурный характер, а не причинно-экспериментальный. Кроме того, гетерогенность терминологии в различных источниках (например, различное понимание понятий «компетенция», «роль» или «эффективность») усложняет прямое сопоставление. Качество эмпирических данных в ряде случаев ограничено, так как выборки нередко специфичны для отдельных отраслей и компаний. Наконец, ряд моделей по своей природе статичен и не учитывает динамику развития компетенций, что снижает точность выводов на долгосрочных интервалах.

Тем не менее выявленные ограничения открывают перспективы дальнейших исследований. Наиболее перспективным направлением является разработка многокритериальной оптимизации, ориентированной на Waterfall-проекты, с учетом таких факторов, как сроки, стоимость, покрытие ролями, координационная нагрузка и риски замещения специалистов. Перспективным видится развитие динамических моделей компетенций, которые учитывают изменение навыков и эффект передачи знаний. Особое значение имеет интеграция многокритериальных подходов с имитационным моделированием и элементами теории игр, что позволит оценивать устойчивость состава команды при изменении внешних условий и стратегическом поведении участников. Важной задачей является создание открытых эталонных наборов данных для сопоставимых исследований, а также рассмотрение этических аспектов автоматизации подбора команд.

## 5. Заключение

В статье был проведен анализ существующих моделей и методов формирования команды, которые предлагают различные подходы к распределению ролей и обязанностей, организации работы команды и управлению проектом. Было выявлено, что, несмотря на наличие определенных преимуществ у каждого из рассмотренных методов, их общим существенным недостатком является и ориентация на однокритериальную оптимизацию. Существующие модели, как правило, формируют команду относительно одного, заранее заданного набора значений срока выполнения проекта и его стоимости. Эта особенность вводит ограничения для лиц, принимающих решения относительно выбора между возможными оптимальными составами команды.

Помимо анализа моделей были рассмотрены инструменты, используемые при формировании команды IT-проекта, такие как экспертные оценки, теоретико-игровые модели, системный анализ, однокритериальная и многокритериальная оптимизация и имитационное моделирование. Анализ существующих подходов показывает, что большинство методов применимы как для традиционной каскадной, так и для гибких методологий управления проектами. Однако выявлен пробел в применении многокритериальной оптимизации в Waterfall-проектах. Это ограничение может снижать эффективность подбора команды в традиционных моделях разработки, где критически важно учитывать сразу несколько факторов, таких как сроки, стоимость, компетенции и взаимодействие участников. Таким образом, актуальным является развитие методологической и инструментальной базы многокритериальной оптимизации формирования команд IT-проектов, реализуемых по методологии Waterfall, что позволит повысить обоснованность принимаемых управленческих решений, учесть совокупность ключевых факторов и обеспечить более высокую результативность реализации IT-проектов, реализуемых по данной методологии.

### Список литературы

- Afolabi A.I., Chukwurah N. and Abieba O.A. (2025) Implementing cutting-edge software engineering practices for cross-functional team success. *Journal details pending*.
- Ampuero M.A. and Abreu A.L.I. (2021) Developing a model and a tool for the formation of project teams. In: *Latin American women and research contributions to the IT field*. IGI Global Scientific Publishing, pp.240-262.
- Bassil Y. (2012) A simulation model for the waterfall software development life cycle. *arXiv preprint arXiv:1205.6904*.
- Boehm B. and Turner R.N. (2003) *Balancing agility and discipline: a guide for the perplexed*. Addison-Wesley Professional.
- Bukht R. and Heeks R. (2017) Defining, conceptualising and measuring the digital economy. *Development Informatics working paper*, (68).
- Cao L., Ramesh B. and Abdel-Hamid T. (2010) Modeling dynamics in agile software development. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 1(1), pp.1-26.
- Chow T. and Cao D.B. (2008) A survey study of critical success factors in agile software projects. *Journal of systems and software*, 81(6), pp.961-971.
- Conforto E.C. et al. (2014) Can agile project management be adopted by industries other than software development? *Project Management Journal*, 45(3), pp.21-34.
- Daniel M. and Odon M. (2021) Development of a tool for team formation in engineering education. *International Journal Of Engineering And Management Research*, 11(6), pp.62-69.
- Deb K. et al. (2002) A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), pp.182-197.
- Dehghani M. and Trojovský P. (2021) Teamwork optimization algorithm: a new optimization approach for function minimization/maximization. *Sensors*, 21(13), p.4567.
- Dingsøyr T., Moe N.B. and Seim E.A. (2018) Coordinating knowledge work in multiteam programs: findings from a large-scale agile development program. *Project Management Journal*, 49(6), pp.64-77.
- Driskell T., Salas E. and Driskell J.E. (2018) Teams in extreme environments: alterations in team development and teamwork. *Human resource management review*, 28(4), pp.434-449.
- George B. and Paul J. (2020) *Digital transformation in business and society*. New York, NY, USA : Springer International Publishing.
- Hoda R., Noble J. and Marshall S. (2012) Self-organizing roles on agile software development teams. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(3), pp.422-444.
- Luan D. and Xie T. (2024) Agile portfolio management in the software-development sector a qualitative literature study of challenges and opportunities.
- Luan D. and Xie T. (2024) Agile portfolio management in the software-development sector a qualitative literature study of challenges and opportunities.
- Lunesu M.I. et al. (2021) Assessing the risk of software development in agile methodologies using simulation. *IEEE Access*, 9, pp.134240-134258.
- Mahmoudpour F., Gholipour A. and Carmen Galang M. (2025) Enhancing team building in project-oriented organizations: an arts-based approach. *Human Systems Management*, 44(3), pp.424-431.
- Mesarovic M.D. and Takahara Y. (1975) *General systems theory: mathematical foundations*. Academic press.
- Myerson R.B. (2013) *Game theory*. Harvard university press.
- Pinto J.K. and Slevin D.P. (1987) Critical factors in successful project implementation. *IEEE transactions on engineering management*, (1), pp.22-27.
- Poppendieck M. and Poppendieck T. (2003) *Lean software development: an agile toolkit: an agile toolkit*. Addison-Wesley.
- Qu D. et al. (2023) A competition-oriented student team building method. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, pp.1966-1979.
- Raibulet C. and Fontana F.A. (2018) Collaborative and teamwork software development in an undergraduate software engineering course. *Journal of Systems and Software*, 144, pp.409-422.
- Royce W.W. (1987) Managing the development of large software systems: concepts and techniques. *Proceedings of the 9th international conference on Software Engineering*, pp.328-338.
- Salas E., Reyes D.L. and McDaniel S.H. (2018) The science of teamwork: progress, reflections, and the road ahead. *American Psychologist*, 73(4), p.593.
- Saravanos A. and Curinga M.X. (2023) Simulating the software development lifecycle: the waterfall model. *Applied System Innovation*, 6(6), p.108.
- Serrador P. and Pinto J.K. (2015) Does agile work?—a quantitative analysis of agile project success. *International journal of project management*, 33(5), pp.1040-1051.
- Song I.H.J. and Paczek C. (2023) Work in progress: agile methodologies for online software engineering education under the pandemic. *2023 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, pp.1-4.
- Sutherland J. and Sutherland J.J. (2014) *Scrum: the art of doing twice the work in half the time*. Crown Currency.
- Vaida M.F. (2019) Collaborative education teams development using alternative methodologies. *Proceedings of the 11th International Conference on Education Technology and Computers*, pp.223-227.
- Vershina E., Zvereva O. and Shabunin S. (2024) Technique for building project teams based on the belbin role model. *The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science*, 18, pp.14-27.
- Vidgen R. and Wang X. (2009) Coevolving systems and the organization of agile software development. *Information Systems Research*, 20(3), pp.355-

376.

- White A.S. (2014) An agile project system dynamics simulation model. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach (IJITSA)*, 7(1), pp.55-79.
- Zhang L. and Zhang X. (2013) Multi-objective team formation optimization for new product development. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), pp.804-811.
- Zzkarian A. and Kusiak A. (1999) Forming teams: an analytical approach. *IEE transactions*, 31(1), pp.85-97.
- Ажмухамедов И.М., Ажмухамедов А.И. (2011) Методика формирования команды для реализации IT-проектов на основе нечеткой когнитивной модели оценки компетенций. *Прикладная информатика*, 4(34), pp.70-76.
- Афонин П.А. (2020) Предиктивный метод определения результативности команды IT-проекта. *Электронный экономический вестник Татарстана*, (2), pp.79-85.
- Бейльханов Д.К., Квятковская И.Ю. (2012) Использование методов оценки кандидатов в процессе командообразования. \*Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2012\*, 2, pp.156-160.
- Гинцяк А.М. (2023) Моделирование научно-исследовательских проектов с применением инструментов теории игр. *Инновации*, (1(291)), p.66.
- Дергачев М.В., Бекетов С.М. (2024) Алгоритм расчета стоимости проекта с учетом сроков и оптимального состава команды для принятия обоснованных управленческих решений. *Управление инновациями в условиях цифровой трансформации*, pp.54-58.
- Дергачев М.В., Бекетов С.М. (2025) Методы принятия решений в управлении IT-проектами. *Современные подходы в системном инжиниринге и цифровом моделировании сложных производственных систем*, pp.404-410.
- Кузьмина Э.В., Пьянкова Н.Г. (2024) Совершенствование процесса управления проектом разработки программного продукта. *Вестник Академии знаний*, (5(64)), pp.629-635.
- Никитина М.И. et al. (2023) Модель рационального стимулирования членов проектной команды на базе инструментов теории игр. *Прикладная математика и вопросы управления*, (1), pp.72-88.
- Хаджиева С.В. (2018) Разработка моделирующего алгоритма формирования команды IT-проекта. *Информационные технологии в науке, бизнесе и образовании*, pp.133-139.
- Хитрова Т.И., Ованесян С.С. and Низовцева А.С. (2020) Методы формирования состава исполнителя IT-проекта. *Baikal Research Journal*, 11(4), p.7.
- Шушков Ю.Г. (2008) Поддержка процесса формирования команды для разработки внешнего IT проекта. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, (8(46)), pp.124-126.

## References

- Afolabi A.I., Chukwurah N. and Abieba O.A. (2025) Implementing cutting-edge software engineering practices for cross-functional team success. *Journal details pending*.
- Afonin P.A. (2020) Prediktivnyy metod opredeleniya rezul'tativnosti komandy IT-proekta. *Elektronnyy ekonomicheskiy vestnik Tatarstana*, (2), pp.79-85. (in Russian)
- Ampuero M.A. and Abreu A.L.I. (2021) Developing a model and a tool for the formation of project teams. In: *Latin American women and research contributions to the IT field*. IGI Global Scientific Publishing, pp.240-262.
- Azhmuhamedov I.M. and Azhmuhamedov A.I. (2011) Metodika formirovaniya komandy dlya realizatsii IT-proektov na osnove nechetkoy kognitivnoy modeli otsenki kompetentsiy. *Prikladnaya informatika*, 4(34), pp.70-76. (in Russian)
- Bassil Y. (2012) A simulation model for the waterfall software development life cycle. *arXiv preprint arXiv:1205.6904*.
- Beilkhanov D.K. and Kvyatkovskaya I.Yu. (2012) Ispol'zovanie metodov otsenki kandidatov v protsesse komandoobrazovaniya. \*Pokolenie budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh - 2012\*, 2, pp.156-160. (in Russian)
- Boehm B. and Turner R.N. (2003) *Balancing agility and discipline: a guide for the perplexed*. Addison-Wesley Professional.
- Bukht R. and Heeks R. (2017) Defining, conceptualising and measuring the digital economy. *Development Informatics working paper*, (68).
- Cao L., Ramesh B. and Abdel-Hamid T. (2010) Modeling dynamics in agile software development. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 1(1), pp.1-26.
- Chow T. and Cao D.B. (2008) A survey study of critical success factors in agile software projects. *Journal of systems and software*, 81(6), pp.961-971.
- Conforto E.C. et al. (2014) Can agile project management be adopted by industries other than software development? *Project Management Journal*, 45(3), pp.21-34.
- Daniel M. and Odon M. (2021) Development of a tool for team formation in engineering education. *International Journal Of Engineering And Management Research*, 11(6), pp.62-69.
- Deb K. et al. (2002) A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), pp.182-197.
- Dehghani M. and Trojovský P. (2021) Teamwork optimization algorithm: a new optimization approach for function minimization/maximization. *Sensors*, 21(13), p.4567.
- Dergachev M.V. and Beketov S.M. (2024) Algoritm rascheta stoimosti proekta s uchetom srokov i optimal'nogo sostava komandy dlya prinyatiya obosnovannykh upravlencheskikh resheniy. *Upravlenie innovatsiyami v usloviyakh tsifrovoy transformatsii*, pp.54-58. (in Russian)
- Dergachev M.V. and Beketov S.M. (2025) Metody prinyatiya resheniy v upravlenii IT-proektami. *Sovremennye podkhody v sistemnom inzhiniringe i tsifrovom modelirovanii slozhnykh proizvodstvennykh sistem*, pp.404-410. (in Russian)
- Dingsøyr T., Moe N.B. and Seim E.A. (2018) Coordinating knowledge work in multiteam programs: findings from a large-scale agile development program. *Project Management Journal*, 49(6), pp.64-77.
- Driskell T., Salas E. and Driskell J.E. (2018) Teams in extreme environments: alterations in team development and teamwork. *Human resource management review*, 28(4), pp.434-449.
- George B. and Paul J. (2020) *Digital transformation in business and society*. New York, NY, USA : Springer International Publishing.
- Gintciak A.M. (2023) Modelirovanie nauchno-issledovatel'skikh proektov s primeneniem instrumentov teorii igr. *Innovatsii*, (1(291)), p.66. (in Russian)
- Hoda R., Noble J. and Marshall S. (2012) Self-organizing roles on agile software development teams. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(3), pp.422-444.
- Khadzhiyeva S.V. (2018) Razrabotka modeliruyushchego algoritma formirovaniya komandy IT-proekta. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, biznese i obrazovanii*, pp.133-139. (in Russian)
- Khitrova T.I., Ovanesyanyan S.S. and Nizovtseva A.S. (2020) Metody formirovaniya sostava ispolnitele IT-proekta. *Baikal Research Journal*, 11(4), p.7. (in Russian)
- Kuz'mina E.V. and P'yankova N.G. (2024) Sovershenstvovanie protsessu upravleniya proektom razrabotki programmnogo produkta. *Vestnik Akademii znaniy*, (5(64)), pp.629-635. (in Russian)
- Luan D. and Xie T. (2024) Agile portfolio management in the software-development sector a qualitative literature study of challenges and opportunities.
- Lunesu M.I. et al. (2021) Assessing the risk of software development in agile methodologies using simulation. *IEEE Access*, 9, pp.134240-134258.
- Mahmoudpour F., Gholipour A. and Carmen Galang M. (2025) Enhancing team building in project-oriented organizations: an arts-based approach. *Human Systems Management*, 44(3), pp.424-431.
- Mesarovic M.D. and Takahara Y. (1975) *General systems theory: mathematical foundations*. Academic press.
- Myerson R.B. (2013) *Game theory*. Harvard university press.

- Nikitina M.I. et al. (2023) Model' ratsional'nogo stimulirovaniya chlenov proektnoy komandy na baze instrumentov teorii igr. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*, (1), pp.72-88. (in Russian)
- Pinto J.K. and Slevin D.P. (1987) Critical factors in successful project implementation. *IEEE transactions on engineering management*, (1), pp.22-27.
- Poppendieck M. and Poppendieck T. (2003) *Lean software development: an agile toolkit: an agile toolkit*. Addison-Wesley.
- Qu D. et al. (2023) A competition-oriented student team building method. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, pp.1966-1979.
- Raibulet C. and Fontana F.A. (2018) Collaborative and teamwork software development in an undergraduate software engineering course. *Journal of Systems and Software*, 144, pp.409-422.
- Royce W.W. (1987) Managing the development of large software systems: concepts and techniques. *Proceedings of the 9th international conference on Software Engineering*, pp.328-338.
- Salas E., Reyes D.L. and McDaniel S.H. (2018) The science of teamwork: progress, reflections, and the road ahead. *American Psychologist*, 73(4), p.593.
- Saravanos A. and Curinga M.X. (2023) Simulating the software development lifecycle: the waterfall model. *Applied System Innovation*, 6(6), p.108.
- Serrador P. and Pinto J.K. (2015) Does agile work?—a quantitative analysis of agile project success. *International journal of project management*, 33(5), pp.1040-1051.
- Shushkov Yu.G. (2008) Podderzhka protsessy formirovaniya komandy dlya razrabotki vneshnego IT proekta. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (8(46)), pp.124-126. (in Russian)
- Song I.H.J. and Paczek C. (2023) Work in progress: agile methodologies for online software engineering education under the pandemic. *2023 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, pp.1-4.
- Sutherland J. and Sutherland J.J. (2014) *Scrum: the art of doing twice the work in half the time*. Crown Currency.
- Vaida M.F. (2019) Collaborative education teams development using alternative methodologies. *Proceedings of the 11th International Conference on Education Technology and Computers*, pp.223-227.
- Vershinina E., Zvereva O. and Shabunin S. (2024) Technique for building project teams based on the belbin role model. *The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science*, 18, pp.14-27.
- Vidgen R. and Wang X. (2009) Coevolving systems and the organization of agile software development. *Information Systems Research*, 20(3), pp.355-376.
- White A.S. (2014) An agile project system dynamics simulation model. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach (IJITSA)*, 7(1), pp.55-79.
- Zhang L. and Zhang X. (2013) Multi-objective team formation optimization for new product development. *Computers & Industrial Engineering*, 64(3), pp.804-811.
- Zzkarian A. and Kusiak A. (1999) Forming teams: an analytical approach. *IIE transactions*, 31(1), pp.85-97.

Статья поступила в редакцию 15.05.2025, одобрена после рецензирования 25.05.2025, принята к публикации 09.06.2025.

The article was submitted 15.05.2025, approved after reviewing 25.05.2025, accepted for publication 09.06.2025.

#### Информация об авторах:

1. Максим Дергачев, лаборант-исследователь, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0004-4030-7258>, maksim.dergachev@spbpu.com
2. Сальбек Бекетов, ассистент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0009-6448-9486>, salbek.beketov@spbpu.com
3. Алексей Гинцяк, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, aleksei.gintciak@spbpu.com

#### About authors:

1. Maksim Dergachev, Research Assistant, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0004-4030-7258>, maksim.dergachev@spbpu.com
2. Salbek Beketov, Assistant, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0009-6448-9486>, salbek.beketov@spbpu.com
3. Alexey Gintciak, PhD, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, aleksei.gintciak@spbpu.com