МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ПРОЕКТА НА БАЗЕ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

С. М. Бекетов¹, М. В. Дергачев², С. Г. Редько³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт Петербург, Россия

¹salbek.beketov@spbpvu.com, ²dergachev.mv@edu.spbstu.ru, ³redko_sg@spbstu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Исследование посвящено разработке модели формирования оптимального состава команд для проектов в целом и для инновационных в частности, которые являются основой экономического прогресса в современном информационном обществе. Проблема заключается в необходимости повышения эффективности и результативности проектов за счет оптимизации состава команд. Целью исследования является создание математической модели формирования команд проектов, учитывающей такие факторы, как квалификация, производительность и инновационный потенциал участников. *Материалы и методы.* Методологическую и инструментальную основу исследования составили метод дискретной оптимизации, основы кибернетики, а также математического моделирования. В работе рассматриваются существующие подходы к формированию команд, в основном базирующиеся на опыте и наблюдениях, на личностных качествах или взаимоотношениях между членами команды. *Результаты.* В результате была построена модель формирования команды проекта на основе алгоритма, позволяющего минимизировать затраты на персонал при сохранении высокой эффективности. Практическое применение данной модели демонстрируется на примере IT-проектов, что показывает возможности оптимизации человеческих ресурсов в данной отрасли. Модель обеспечивает оптимальный состав команды на проект с учетом минимизации расходов на трудовые ресурсы при выполнении требуемой производительности на проект в целом. Данный подход способствует экономическому прогрессу проектно-ориентированных предприятий. *Выводы.* Исследование направлено на улучшение методов и моделей управления проектами и может быть полезно руководителям проектов, специалистам по кадрам и руководству компаний, стремящихся внедрить методы оптимизации состава команд при реализации проектов. Внедрение разработанной модели может способствовать повышению прогнозируемости проектов, что особенно актуально в условиях растущей сложности и масштабов современных проектов.

Ключевые слова: проект, формирование команды, команда проекта, оптимизация, дискретная оптимизация, оптимальный состав

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2024-004 от 17.01.2024).

Для цитирования: Бекетов С. М., Дергачев М. В., Редько С. Г. Модель формирования команды проекта на базе методов дискретной оптимизации // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2025. № 1. С. 101–113. doi: 10.21685/2227-8486-2025-1-8

MODEL FOR THE FORMATION OF A PROJECT TEAM COMPOSITION BASED ON DISCRETE OPTIMIZATION METHODS

S.M. Beketov¹, M.V. Dergachev², S.G. Redko³

^{1, 2, 3} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
¹salbek.beketov@spbpbu.com, ²dergachev.mv@edu.spbstu.ru, ³redko_sg@spbstu.ru

Abstract. *Background.* The research is devoted to the development of a model for the formation of optimal team composition for projects in general, and for innovative ones in particular, which are the basis of economic progress in the modern information society. The problem lies in the need to improve the efficiency and effectiveness of projects by optimizing the composition of teams. The aim of the study is to create a mathematical model for the formation of project teams, taking into account factors such as qualifications, productivity and innovative potential of participants. *Materials and methods.* The methodological and instrumental basis of the research was made up of general scientific and special optimization methods, the basics of cybernetics, and mathematical modeling. *Results.* The paper examines existing approaches to team building and develops an algorithm that minimizes personnel costs while maintaining high efficiency. The practical application of the model is demonstrated by the example of IT projects, which shows the possibilities of optimizing human resources and increasing productivity. The model ensures the optimal composition of the project team, which in turn contributes to the economic progress of project-oriented enterprises. *Conclusions.* The research is aimed at improving project management methods and models and may be useful for project managers, HR specialists and company management seeking to implement methods to optimize the composition of teams in the implementation of projects. The implementation of the developed model can help to increase the predictability and manageability of projects, which is especially important in the context of the growing complexity and scale of modern projects.

Keywords: project, team formation, project team, optimization, discrete optimization, optimal composition

Financing: the study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State assignment № 075-03-2024-004 dated January 17, 2024).

For citation: Beketov S.M., Dergachev M.V., Redko S.G. Model for the formation of a project team composition based on discrete optimization methods. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2025;(1):101–113. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2025-1-8

Введение

В современном информационном обществе реализуемые проекты (IT, научно-исследовательские, инновационные и т.д.) являются основным двигателем прогресса и экономического развития. Такие проекты влияют на многие сферы жизни, включая научную и бизнес-сферу [1]. Это объясняется тем, что проекты зачастую способствуют созданию новых продуктов, услуг, технологий и методов управления, что, в свою очередь, стимулирует экономический рост, улучшает качество жизни и повышает конкурентоспособность на рынке.

Формирование эффективных команд для реализации проектов приобретает стратегическое значение в связи с растущей сложностью современных задач и увеличением уровня конкуренции. Эффективность команды напрямую влияет на успех проекта, поскольку качество выполнения задач, соблюдение

сроков и управление ресурсами в значительной степени зависят от качественного подбора участников команды и их компетентности [2, 3].

Вопрос оптимизации процесса формирования команды становится важной составляющей для успешной реализации проектов. Необходимо достигать максимальных результатов при ограниченных ресурсах, таких как время, бюджет и человеческие ресурсы. Путем улучшения подходов к набору и формированию команд предприятие может привлечь наиболее квалифицированных сотрудников, что, в свою очередь, приближает его к достижению стратегических целей [4]. Таким образом, эффективное формирование команды представляет собой актуальную задачу, которая требует внимания и научного подхода для разработки оптимальных стратегий и методов.

Существующие подходы к формированию команд для инновационных проектов часто базируются на опыте и наблюдениях, что может привести к неполным или неоптимальным результатам [5, 6]. В связи с этим возникает потребность в создании инструмента, способного оптимизировать процесс формирования команды, учитывая разнообразные факторы, влияющие на ее успех.

Существует множество подходов к моделированию формирования команды инновационного проекта. Например, представленная в статье [7] модель описывает процесс решения проблем группой агентов, у каждого из которых есть свои инструменты и навыки их применения, с учетом вероятностей успеха этих инструментов. Модель анализирует, как различные типы агентов могут эффективно использовать свои инструменты для решения задач, учитывая, что вероятность успеха инструмента не зависит от агента, но их навыки применения инструментов различаются.

В статье [8] представлен эволюционный алгоритм формирования команды. Модель основывается исключительно на моделировании взаимоотношений и поведения членов команды при выполнении своих обязанностей и достижении желаемой цели команды. Она не учитывает различные компетенции сотрудников, их инновационный потенциал и ограничения по сроку и стоимости проекта, что ограничивает точность модели.

Модель, представленная в статье [9], учитывает личностные качества участников команды, такие как честность, эмоциональность и др., и профессиональные – знания, умения и навыки. Однако данная статья фокусируется на командах типа agile и в ней не представлена конкретная математическая модель.

В статье [10] представлена модель формирования команды, основанная на мультиагентном обучении с подкреплением (СОРА). Модель СОРА формирует команду, оценивая характеристики агентов, такие как уровень навыков и физическое состояние, через симуляции и стратегическое обучение, где тренер координирует действия агентов и минимизирует коммуникацию. Этот процесс позволяет создавать оптимальные составы команд для выполнения различных задач, обеспечивая способность модели адаптироваться к новым условиям и агентам. Несмотря на это, модель не учитывает возможности наличия различных профессиональных ролей агентов, в связи с чем ее применение ограничено. Кроме того, полученные наборы команд подбирались при условии выполнения одной задачи всеми участниками команды.

Таким образом, новизна исследования заключается в разработке и обосновании подхода к постановке задачи оптимизации, направленной на формирование

проектных команд. В отличие от традиционных подходов, предлагаемая задача формализована с учетом комплекса ограничений и целей. Предложенная модель также одновременно учитывает множество параметров, таких как производительность, квалификация, должность и инновационный показатель сотрудников. Данный подход расширяет возможности решения задачи оптимизации формирования состава проектных команд и отражает реалии современных проектных процессов.

Помимо высокой степени неопределенности проектов при формировании команды существует множество переменных и ограничений, которые требуют оптимального распределения ресурсов [11]. В этом контексте использование методов дискретной оптимизации становится актуальным, поскольку они позволяют эффективно моделировать сложные системы с дискретными переменными и находить оптимальные решения в условиях ограниченных ресурсов [12, 13].

Разработка модели формирования команды инновационного проекта на базе методов дискретной оптимизации не только позволит решить конкретную практическую задачу, но и внести значительный вклад в развитие научной дисциплины и улучшение качества научных исследований в этой области.

Материалы и методы

Дискретная оптимизация представляет собой фундаментальную область исследования, занимающую важное место в решении задач оптимизации, где переменные принимают дискретные значения, а решения сосредоточены на дискретных множествах [14]. Область находит широкое применение в различных сферах, таких как транспортное планирование, производственный менеджмент, сетевое проектирование и др.

Базовые принципы дискретной оптимизации вытекают из основ кибернетики, теории исследования операций и применения математических моделей в управлении [15]. Применение методов дискретной оптимизации в управлении командами проектов позволяет эффективно выбирать наилучшие решения на основе ограничений и требований проекта, учитывая дискретность переменных и применяя математические модели и методы анализа данных [16].

Процесс дискретной оптимизации включает разработку и применение методов математического моделирования, анализа данных и оптимизации для решения задач управления. Методы дискретной оптимизации могут быть применены для оптимизации процессов подбора и распределения персонала, а также для прогнозирования будущих потребностей в ресурсах команды [17].

В качестве примера задачи дискретной оптимизации можно рассмотреть классическую задачу о коммивояжере. В этой задаче требуется найти самый выгодный маршрут для коммивояжера, проходящий через каждый город ровно один раз с минимальной стоимостью. Подход иллюстрирует способность дискретной оптимизации решать задачи маршрутизации и распределения ресурсов в условиях ограничений и дискретности переменных.

Метод дискретной оптимизации является хорошим инструментом для решения задач управления, включая формирование команды инновационного проекта. Дискретная оптимизация обеспечивает возможность решения различных задач в управлении проектами, что важно для достижения поставленных целей и обеспечения успеха проекта.

Результаты

В данном исследовании представлена математическая модель, нацеленная на эффективное формирование команды для реализации инновационных проектов в организации. Модель использует методы дискретной оптимизации для обеспечения оптимального распределения ресурсов и сокращения затрат на заработную плату сотрудников, необходимых для выполнения задач.

Математическая задача моделирования включает целевую функцию, зависящую от количества сотрудников на различных должностях и с различной квалификацией, их заработной платы, а также времени, необходимого для завершения проекта. Модель также позволяет учитывать такие критерии, как эффективность работы сотрудника, необходимая производительность и инновационный показатель сотрудников разной должности. Формулировка данной задачи представляется следующим образом:

$$\min : E(N) = \sum_i \sum_j (N_{ij} \cdot S_{ij} \cdot T),$$

при условии

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_j (N_{ij} \cdot P_{ij} \cdot T) \geq P_{i_req}, \\ \sum_i (I_j \cdot N_{ij}) \geq I_{j_req}, \\ N_{ij} \leq N_{ij_max}, \\ N_{ij} \in \mathbb{Z}. \end{array} \right.$$

Функция $E(N)$ – целевая функция расходов на трудовые ресурсы. Целевая функция выражает общие расходы на проект, учитывая количество сотрудников на различных должностях с различной квалификацией, их заработную плату и время, необходимое для завершения проекта.

Индекс j обозначает различные уровни квалификации (например, начинающий, опытный, эксперт и т.д.), а индекс i указывает на различные должности в организации (например, менеджер, разработчик, аналитик и т.д.). N_{ij} будет представлять собой переменную, обозначающую количество сотрудников, занимающих должность i с квалификацией j .

Переменная S_{ij} – заработная плата сотрудника i должности j квалификации. На основе платформы онлайн-рекрутинга в России возможно обоснование заработных плат для каждой должности соответствующей квалификации.

Срок реализации проекта T считается неоднородным, количество измеряется в часах. Каждый проект имеет сроки выполнения, которые также учитываются при подборе работников. Формирование срока реализации проекта может зависеть от субъективной оценки, личных ощущений, опыта лица, принимающего решения.

Переменная P_{ij} количественно оценивает результативность или эффективность работы сотрудника на конкретной должности с определенным уровнем квалификации за определенное количество времени. Более высокие значения P_{ij} указывают на более высокую эффективность или производительность в выполнении задач в заданный временной интервал.

Переменная N_{ij_max} представляет собой максимальное количество сотрудников на должности i с квалификацией j в организации. Она определяется количеством персонала в штате компании и является ограничением для численности персонала на каждой конкретной должности и уровне квалификации.

Переменная P_{i_req} представляет собой необходимую производительность сотрудников на должности i для успешной реализации проекта. Эта величина определяется требованиями проекта к результатам работы и эффективности исполнения задач на конкретной должности, измеряется в человеко-часах. Данный показатель основывается на экспертных оценках на моменте инициации проекта и устанавливает, сколько человеко-часов на какой тип работы необходимо.

Переменная I_j представляет собой инновационный показатель сотрудника с квалификацией j . Этот показатель отражает способность сотрудника к генерации новых идей, принятию новаторских подходов к решению задач, а также его готовность и способность к внедрению изменений и улучшений в рабочие процессы и проекты.

Инновационный показатель I_j может оцениваться на основе таких критериев, как творческий потенциал (способность сотрудника к генерации новых идей, нахождению нестандартных решений и креативному мышлению); готовность к изменениям (способность адаптироваться к новым условиям, открытость к инновациям и готовность к экспериментам); результативность во внедрении (эффективность сотрудника в претворении своих идей в жизнь, способность к реализации инноваций и достижению позитивных результатов); степень использования новых технологий и методов (активное применение современных технологий, методов и инструментов в работе).

Оценка инновационного показателя помогает компании определить потенциал сотрудника в области развития и внедрения новых идей, что является ключевым фактором в развитии организации. Это также может быть полезным при формировании команды для проектов, где требуется активное использование новаторских подходов и решений [18].

Для объективной оценки инновационного показателя могут применяться такие подходы, как стандартизированные анкеты для выявления уровня креативности, готовности к изменениям и использования технологий; метод кейсов, который направлен на предоставление сотрудникам практических ситуаций с последующим анализом их решений на предмет инновационности и оригинальности; оценка на основе КРІ (ключевых показателей эффективности), например, количество реализованных идей, их влияние на результаты компании, использование новых методов работы; экспертная оценка, где возможно привлечение независимых экспертов для анализа проектов сотрудников и уровня их инновационности, а также 360-градусная обратная связь от коллег, руководителей и подчиненных для всестороннего анализа поведения сотрудника с точки зрения инновационности.

Необходимый инновационный показатель проекта I_{j_req} является важным и новым аспектом в процессе формирования команды для реализации проектов. Данный показатель необходим для оценки потенциала и успешности проекта. Существуют работы, которые посвящены оценке данного показателя, доказывающие его влияние на успешность предприятия [19, 20], что делает

актуальным учет данного показателя, несмотря на его возможную сложность оценки.

Таким образом, предложенная математическая модель направлена на оптимизацию расходов на персонал в процессе выполнения проектов в организации. Она учитывает несколько ключевых факторов, таких как заработная плата, производительность и инновационный вклад сотрудников, а также ограничения на количество и квалификацию персонала.

Целевая функция представляет собой сумму расходов на персонал за время выполнения проекта, выраженную через произведение количества сотрудников каждой должности и квалификации на их заработную плату и время выполнения проекта. Основная цель заключается в минимизации этой суммы для снижения общих расходов на персонал.

Модель учитывает ограничения, связанные с производительностью и квалификацией персонала. Для каждой должности требуется достижение определенного уровня суммарной производительности, необходимого для успешного выполнения проекта. Аналогично для каждой квалификации устанавливается требуемый уровень инновационного вклада. Эти ограничения выражаются через соответствующие суммы произведений производительности и инновационных показателей на количество сотрудников.

Разработанная модель построена в программе Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решения», которая помогает найти решение с помощью изменения значений целевых ячеек [21]. Апробация модели осуществляется на проектах IT-компании. В структуре компании имеется четкая дифференциация функциональных обязанностей между тремя основными профессиональными ролями: аналитиком, разработчиком и тестировщиком. Данный троичный подход обеспечивает эффективное выполнение каждого этапа жизненного цикла проекта, начиная от изучения требований и формулирования концепции до разработки программного кода и его тестирования на соответствие заранее установленным критериям качества [22].

Аналитики в этой структуре выполняют ключевую роль в изучении и анализе требований клиентов или заказчиков, формулировании функциональных и технических спецификаций, а также в уточнении требований в процессе коммуникации с другими членами команды. Они обеспечивают понимание конечных целей проекта и являются мостом между заказчиками и разработчиками. Разработчики занимаются преобразованием концептуальных и технических спецификаций, созданных аналитиками, в функциональные программные продукты или приложения. Они владеют навыками программирования и обеспечивают реализацию проекта в соответствии с установленными стандартами и требованиями качества. Тестировщики играют важную роль в обеспечении качества разрабатываемого программного продукта. Они разрабатывают и выполняют тестовые сценарии, выявляют дефекты и ошибки в конечном продукте.

Специалисты в области информационных технологий разделяются также на три основных уровня квалификации: Junior, Middle и Senior, в зависимости от опыта работы, инновационного показателя, уровня ответственности и навыков, требуемых для выполнения профессиональных обязанностей. IT-специалисты Junior обычно имеют менее двух лет опыта работы и выполняют базовые задачи, такие как разработка программного обеспечения, техническая

поддержка и системное администрирование. Они чаще нуждаются в руководстве и поддержке со стороны более опытных коллег, и их компетенции в решении проблем и управлении проектами обычно менее развиты по сравнению с более опытными специалистами. Специалисты Middle в IT-сфере, как правило, имеют опыт работы от 2 до 5 лет и обладают определенным уровнем экспертизы в своей области. Они берут на себя более сложные задачи, такие как архитектура программного обеспечения, анализ данных и управление проектами. Специалисты среднего уровня обычно лучше понимают потребности бизнеса и способны действовать более самостоятельно. IT-специалисты Senior являются высококвалифицированными профессионалами с обширным опытом работы в IT-отрасли, обычно более 5 лет. Они занимают руководящие позиции, такие как IT-менеджеры, архитекторы программного обеспечения и технические директора. Специалисты старшего уровня обладают передовыми навыками в решении сложных проблем, стратегическом планировании и критическим мышлением. У них обширный опыт работы с различными технологиями, и они способны управлять крупными проектами и командами [23].

В табл. 1 приведены исходные данные рассматриваемой компании для разработанной модели.

Таблица 1

Исходные данные модели

Должность i и квалификация j	P_{ij} , усл. ед.	S_{ij} , руб/час	N_{ij_max} , чел
Аналитик, Junior	0,8	400	2
Аналитик, Middle	1	500	2
Аналитик, Senior	1,2	700	1
Разработчик, Junior	0,8	600	2
Разработчик, Middle	1	700	3
Разработчик, Senior	1,2	1000	2
Тестировщик, Junior	0,8	500	2
Тестировщик, Middle	1	600	1
Тестировщик, Senior	1,2	800	1

Экспертным методом определены инновационные показатели для каждой квалификации: для Junior – 0,1, для Middle – 0,4, для Senior – 1. В качестве входных данных для входящего в систему проекта по техническому заданию: срок реализации составляет 320 часов, необходимая производительность аналитической работы – 600 человеко-часов, для разработки – 1200, для тестировочной – 700, необходимый инновационный показатель по проекту равен 4 единицам.

На основе прогонки модели были получены следующие результаты. Для оптимального формирования команды проекта потребуется: 1 аналитик Middle, 1 аналитик Senior, 1 разработчик Junior, 3 разработчика Middle, 1 тестировщик Middle и 1 тестировщик Senior. При таком штате расходы сведутся к минимуму, а именно к значению в 1 728 000 руб.

Таким образом, предложенный состав команды обеспечивает оптимальное соотношение между расходами на сотрудников, необходимой производительностью, инновационным потенциалом сотрудников и сроком реализации.

Распределение часов работы между членами команды соответствует их квалификации и сложности задач.

Заключение

Проекты (ИТ, научно-технические, инновационные) представляют собой важный двигатель прогресса и экономического развития в современном информационном обществе. Эффективность команды оказывает прямое влияние на успех проекта, что подчеркивает стратегическое значение формирования эффективных коллективов для их реализации. Существующие подходы к формированию команд зачастую опираются на опыт и наблюдения, что может привести к неоптимальным результатам. В данном контексте разработка модели формирования команды на основе методов дискретной оптимизации представляет собой перспективный подход для повышения эффективности работы команды и снижения затрат на проект.

Разработанная модель формирования команды проекта с использованием методов дискретной оптимизации, представленная в данной статье, отличается от моделей в рассмотренных исследованиях применением инновационного потенциала сотрудника для вычисления оптимального состава команды. Модель также учитывает различные уровни профессиональных компетенций и их требования для реализации проекта.

Исследование внесло вклад в разработку модели формирования команды проекта и подтвердило перспективность учета инновационного показателя при формировании команды проекта. Дальнейшее развитие модели требует учета дополнительных факторов (взаимодействие членов команды и их способность срабатывать друг с другом, личные и психологические аспекты сотрудников и т.д.), влияющих на эффективность команды, добавление динамичности в разработанную модель, детального изучения подсчета инновационного показателя, а также разработки методического обеспечения для ее практического применения.

Практическая значимость модели заключается в возможности использования ее для оптимизации процесса формирования команды в проектах, что позволит повысить эффективность работы команд и снизить общие затраты на проект. Однако стоит отметить, что представленная модель является упрощенной и возможно ее дальнейшее развитие и усовершенствование в других исследованиях.

Данная модель формирования команды проекта полезна множеству заинтересованных сторон. В первую очередь она является ценным инструментом для менеджмента компаний, поскольку позволит им оптимизировать процесс формирования команд, что, в свою очередь, повысит шансы на успешное завершение проектов и улучшит финансовые показатели компании. Модель будет полезна исследователям и разработчикам, которые смогут использовать ее для дальнейших исследований в области оптимизации командных процессов и для создания новых методических подходов к управлению командами. Участники проектов также найдут в модели ценный инструмент для оптимизации состава и структуры своих команд, что поможет им улучшить внутреннюю координацию, повысить производительность и достичь поставленных целей более эффективно. Таким образом, модель формирования команды проекта на базе методов дискретной оптимизации представляет собой полезный

инструмент для широкого круга заинтересованных сторон, способствуя повышению эффективности и успешности реализации разрабатываемых проектов.

Список литературы

1. Beketov S. M., Pospelov K. N., Redko S. G. A human capital simulation model in innovation projects // *Control Sciences*. 2024. № 3. P. 16–25. doi: 10.25728/cs.2024.3.2
2. Ежова Л. С., Воронин А. В., Румянцева П. П. Формирование эффективной команды проекта как условие успешной реализации проекта // *Актуальные вопросы современной экономики*. 2020. № 8. С. 269–276.
3. Вицелярова К. Н. Методика оценки эффективности и результативности проектов // *Естественно-гуманитарные исследования*. 2021. № 5. С. 48–52.
4. Евдочук Д. Д., Красникова А. С. Формирование команды инновационного проекта // *Управление научно-техническими проектами*. 2020. С. 91–95.
5. Могиленская Ю. С. Социально-психологические условия создания эффективной управленческой команды // *Синергия наук*. 2021. № 63. С. 156–164.
6. Кудрявцев Н. Г., Кудин Д. В., Беликова М. Ю., Темербекова А. А. Исследование влияния темпераментных групп ТИМов участников проектной команды на эффективность реализации программных компонент комплексного учебного проекта при использовании метода проектных интерфейсов // *Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании*. 2021. С. 262–267.
7. Bendor J., Page S. E. Optimal team composition for tool-based problem solving // *Journal of Economics & Management Strategy*. 2019. Vol. 28, № 4. P. 734–764.
8. Dehghani M., Trojovský P. Teamwork optimization algorithm: A new optimization approach for function minimization/maximization // *Sensors*. 2021. Vol. 21, № 13. P. 4567.
9. Zainal P., Razali D., Mansor Z. Team formation for agile software development: a review // *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 2020. Т. 10, № 2. P. 555–561.
10. Liu B. [et al.]. Coach-player multi-agent reinforcement learning for dynamic team composition // *International Conference on Machine Learning*. 2021. P. 6860–6870.
11. Гужина Г. Н., Гужин А. А. Формирование команды проекта как фактор эффективности проектного менеджмента современной организации // *Управленческий учет*. 2021. № 9-2. С. 356–364.
12. Булыгина О. В., Иванова О. А. Инструменты формирования команды поддержки изменений на основе методов роевого интеллекта // *Системный анализ в проектировании и управлении*. 2021. Т. 25, № 3. С. 82–87.
13. El-Ashmawi W. H., Ali A. F., Tawhid M. A. An improved particle swarm optimization with a new swap operator for team formation problem // *Journal of Industrial Engineering International*. 2019. Т. 15. P. 53–71.
14. Леонтьев В. К. Дискретная оптимизация // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2007. Т. 47, № 2. С. 338–352.
15. Тебекин А. В., Тебекин П. А., Тебекина А. А. Школа количественного подхода к управлению и возможности использования ее положений для развития современного менеджмента // *Журнал исследований по управлению*. 2018. Т. 4, № 8. С. 52–61.
16. Бекетов С. М., Зубкова Д. А., Редько С. Г. Сравнение методов оптимизации в имитационных моделях сложных организационно-технических систем // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024. Т. 12, № 3. doi: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.027
17. Адамец Д. Ю., Буркова И. В. О подходе к решению задач календарного планирования повышения зрелости управления проектами в области энерготехнологий // *Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)*. 2019. С. 208–210.

18. Климовских Н. В., Рябова В. Э. Оценка инновационного потенциала персонала организации // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 10. С. 80.
19. Каракулин А. Ю., Ершова И. Г. Методический подход управления инновационным потенциалом персонала // Вестник Академии знаний. 2020. № 6. С. 145–151.
20. Иванов И. Н., Орлова Л. В., Иванов С. И. Инновационный потенциал персонала как фактор конкурентоспособности организации // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. 2021. Т. 10, № 2. С. 31–35.
21. Урубков А. Р., Федотов И. В. Методы и модели оптимизации управленческих решений : учеб. пособие. М. : Дело РАНХиГС, 2015. 240 с.
22. Никулина Н. О., Малахова А. И., Баталова В. И. Методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2. С. 94–104.
23. Ушакова Ю. О. Теоретические аспекты сущности четвертой промышленной революции и Интернета вещей // Социальное пространство. 2019. № 2. С. 3.

References

1. Beketov S.M., Pospelov K.N., Redko S.G. A human capital simulation model in innovation projects. *Control Sciences*. 2024;(3):16–25. doi: 10.25728/cs.2024.3.2
2. Ezhova L.S., Voronin A.V., Rumyantseva P.P. Formation of an effective project team as a condition for successful project implementation. *Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki = Current issues of the modern economy*. 2020;(8):269–276. (In Russ.)
3. Vitselyarova K.N. Methodology for evaluating the effectiveness and efficiency of projects. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya = Natural Sciences and Humanities Research*. 2021;(5):48–52. (In Russ.)
4. Evdochuk D.D., Krasnikova A.S. Formation of an innovation project team. *Upravlenie nauchno-tekhnicheskimi proektami = Management of scientific and technical projects*. 2020:91–95. (In Russ.)
5. Mogilenskaya Yu.S. Socio-psychological conditions for creating an effective management team. *Sinerhiya nauk = Synergy of Sciences*. 2021;(63):156–164. (In Russ.)
6. Kudryavtsev N.G., Kudin D.V., Belikova M.Yu., Temerbekova A.A. Investigation of the influence of temperamental groups of team members of the project team on the effectiveness of the implementation of program components of a comprehensive educational project when using the project interface method. *Informatizatsiya obrazovaniya i metodika elektronnoy obucheniya: tsifrovyye tekhnologii v obrazovanii = Informatization of education and e-learning methodology: digital technologies in education*. 2021:262–267. (In Russ.)
7. Bendor J., Page S.E. Optimal team composition for tool-based problem solving. *Journal of Economics & Management Strategy*. 2019;28(4):734–764.
8. Dehghani M., Trojovský P. Teamwork optimization algorithm: A new optimization approach for function minimization/maximization. *Sensors*. 2021;21(13):4567.
9. Zainal P., Razali D., Mansor Z. Team formation for agile software development: a review. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 2020;10(2):555–561.
10. Liu B. et al. Coach-player multi-agent reinforcement learning for dynamic team composition. *International Conference on Machine Learning*. 2021:6860–6870.
11. Guzhina G.N., Guzhin A.A. Project team formation as a factor of effectiveness of project management in a modern organization. *Upravlencheskiy uchet = Managerial accounting*. 2021;(9-2):356–364. (In Russ.)
12. Bulygina O.V., Ivanova O.A. Tools for forming a change support team based on swarm intelligence methods. *Sistemnyy analiz v proektirovanii i upravlenii = System analysis in design and management*. 2021;25(3):82–87. (In Russ.)

13. El-Ashmawi W.H., Ali A.F., Tawhid M.A. An improved particle swarm optimization with a new swap operator for team formation problem. *Journal of Industrial Engineering International*. 2019;15:53–71.
14. Leont'ev V.K. Discrete optimization. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki = Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2007;47(2):338–352. (In Russ.)
15. Tebekin A.V., Tebekin P.A., Tebekina A.A. The school of quantitative approach to management and the possibility of using its provisions for the development of modern management. *Zhurnal issledovaniy po upravleniyu = Journal of Management Studies*. 2018;4(8):52–61. (In Russ.)
16. Beketov S.M., Zubkova D.A., Red'ko S.G. Comparison of optimization methods in simulation models of complex organizational and technical systems. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, optimization, and information technology*. 2024;12(3). doi: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.027
17. Adamets D.Yu., Burkova I.V. On the approach to solving the tasks of calendar planning to increase the maturity of project management in the field of energy technologies. *Intellektual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie (ISUZhT-2019) = Intelligent control systems in railway transport. Computer and mathematical modeling (ISMST-2019)*. 2019;208–210. (In Russ.)
18. Klimovskikh N.V., Ryabova V.E. Assessment of the innovative potential of the organization's personnel. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economics and Business: theory and practice*. 2021;(10):80. (In Russ.)
19. Karakulin A.Yu., Ershova I.G. Methodological approach to personnel innovation potential management. *Vestnik Akademii znaniy = Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2020;(6):145–151. (In Russ.)
20. Ivanov I.N., Orlova L.V., Ivanov S.I. The innovative potential of personnel as a factor of competitiveness of the organization. *Upravlenie personalom i intellektual'nymi resursami v Rossii = Personnel and intellectual resources management in Russia*. 2021;10(2):31–35. (In Russ.)
21. Urubkov A.R., Fedotov I.V. *Metody i modeli optimizatsii upravlencheskikh resheniy: ucheb. posobie = Methods and models of optimization of managerial decisions : textbook*. Moscow: Delo RANKhiGS, 2015:240. (In Russ.)
22. Nikulina N.O., Malakhova A.I., Batalova V.I. Methodology for assessing the contribution of project team members to achieving the goals of an IT project. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management*. 2021;(2):94–104. (In Russ.)
23. Ushakova Yu.O. Theoretical aspects of the essence of the Fourth Industrial Revolution and the Internet of Things. *Sotsial'noe prostranstvo = Social Space*. 2019;(2):3. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сальбек Мустафаевич Бекетов

аналитик, ассистент лаборатории цифрового моделирования индустриальных систем Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)
E-mail: salbek.beketov@spbpu.com

Salbek M. Beketov

Analyst, assistant of the laboratory of digital modeling of industrial systems of the Graduate School of Project Management and Innovation in Industry, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(29 Politehnicheskaja street, St. Petersburg, Russia)

Максим Владимирович Дергачев

магистрант
Высшей школы проектной деятельности
и инноваций в промышленности,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29)
E-mail: dergachev.mv@edu.spbstu.ru

Maksim V. Dergachev

Master degree student of the Graduate
School of Project Management
and Innovation in Industry,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University
(29 Politehnicheskaja street,
St. Petersburg, Russia)

Сергей Георгиевич Редько

доктор технических наук, профессор,
старший научный сотрудник, директор
Высшей школы проектной деятельности
и инноваций в промышленности,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29)
E-mail: redko_sg@spbstu.ru

Sergey G. Redko

Doctor of technical sciences, professor,
senior researcher, director of the Graduate
School of Project Management
and Innovation in Industry,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University
(29 Politehnicheskaja street,
St. Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 10.10.2024

Поступила после рецензирования/Revised 13.12.2024

Принята к публикации/Accepted 15.03.2025