

На правах рукописи

Калевко Виктор Васильевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЕКТНО-
ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Специальность 2.3.4. – Управление в организационных системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Брянск – 2024

Работа выполнена на кафедре «Информатика и программное обеспечение»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Научный руководитель

Лагереv Дмитрий Григорьевич,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты

Бондаренко Юлия Валентиновна,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры математических методов исследования
операций, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет», г. Воронеж

Черновалова Маргарита Витальевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
информационных технологий в экономике и
управлении, филиал ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина», г. Рязань

Защита диссертации состоится 30 октября 2024 г. в 13:30 часов на заседании
диссертационного совета 24.2.277.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет» по адресу г. Брянск, ул. Харьковская,
д. 10-Б, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет» и на сайте университета по адресу:
<https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/kalevko-viktor-vasilevich>

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар
50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический
университет», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.277.02.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.277.02

кандидат технических наук, доцент



А.Г. Подвесовский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Управление проектно-ориентированными организациями (ПОО), т.е. организациями, основная деятельность которых связана с выполнением проектов, является комплексной задачей, требующей учета большого количества аспектов, касающихся управления как непосредственно портфелем проектов, так и материальными и человеческими ресурсами организации, обеспечивающими выполнение текущих и планируемых проектов.

В таких организациях широко применяется компетентностный подход, позволяющий систематизировать учет и оценку знаний, умений и навыков сотрудников в виде компетенций. Набор и степень освоения компетенций сотрудников, реализуемых в процессе трудовой деятельности, а также компетенций, которыми сотрудники объективно обладают, но которые пока еще не востребованы в работе, можно рассматривать как компетентностный потенциал (КП) организации. Применительно к управлению проектами компетенции сотрудников обычно рассматриваются как различные виды возобновляемых ресурсов, которые требуются для выполнения соответствующих проектных задач.

В создание и развитие теории и механизмов управления в проектно-ориентированных организациях большой вклад внесли отечественные и зарубежные ученые: Новиков Д.А., Бурков В.Н., Баркалов С.А., Адамец Д.Ю., Шелыганов О.И., Бондаренко Ю.В., Korytkowski P., Malachowski B. Организации развития персонала, формам обучения, моделям и оценке освоения новых знаний и компетенций посвящены работы Переваловой О.С., Белова М.В., Зимина А.В., Бурковой И.В., Szwarc E., Wikarek, J., Sitek, P., Cedzich M., Jochem R. Подходы к решению задач построения расписания проекта представлены в работах Лазарева А.А., Гафарова Е.Р., Zitzler E., Laumanns M., Myszkowski P.B.

При управлении портфелем проектов, в особенности при анализе проекто-кандидатов, возможны ситуации, когда для выполнения каких-то проектов потребуются компетенции, которые на данный момент либо отсутствуют или недостаточно развиты у сотрудников компании, либо сотрудники, обладающие необходимыми компетенциями, уже заняты в других проектах.

В таких случаях целесообразно оценить возможность развития целевых компетенций у текущих сотрудников организации или найма специалистов, обладающих необходимыми компетенциями. Найм новых сотрудников это наиболее очевидное решение, но в определенных ситуациях может быть менее предпочтительное, чем развитие компетенций у имеющихся сотрудников. При этом мероприятия по развитию компетенций сотрудников должны быть спланированы и организованы с учетом занятости сотрудников в текущей проектной деятельности.

Данная специфика наиболее характерна для ИТ-компаний, поскольку для таких компаний основным видом ресурсов для выполнения ИТ-проектов являются именно профильные специалисты, а специфика предметной области требует регулярного освоения новых компетенций для обеспечения конкурентоспособности компании.

На управление портфелем проектов организации явным образом влияет состояние компетентностного потенциала, а *само управление процессом развития компетентностного потенциала* имеет четко выраженный **опережающий характер**, поскольку освоение и развитие компетенций требует времени. Тем не менее, отвлечение сотрудников на обучение обычно негативно сказывается на сроках выполнения текущих задач и может привести к нарушению запланированных сроков сдачи текущих проектов.

Рассмотренные методы управления портфелем проектов в полной мере не учитывают процесс развития компетенций сотрудников. В свою очередь, для планирования развития сотрудников необходимо учитывать как занятость сотрудников в текущих проектах, так и изменяющуюся оперативную обстановку при выполнении проектов.

Таким образом, выявлено **противоречие** в том, что существующие методы управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированных организаций не позволяют эффективно реализовывать опережающее управление с учетом взаимовлияния проектной деятельности и процесса развития компетенций. Разрешение данного противоречия представляет собой актуальную научную задачу.

Объектом исследования в диссертационной работе является *процесс развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации*.

Предметом исследования являются *модели, алгоритмы и технологии опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации*.

Целью диссертационной работы является *повышение эффективности управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации за счет разработки новых и совершенствования существующих моделей и алгоритмов в рамках информационной технологии опережающего управления*.

Для достижения указанной цели предполагается решение следующих **задач**:

1. Предложить способ опережающего управления процессом развития КП ПОО, позволяющий явно учитывать потребности портфеля проектов и изменение оперативной обстановки при выполнении проектов.

2. Разработать модели оперативного управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, позволяющие формировать программу развития целевых компетенций сотрудников к выбранному периоду.

3. Разработать информационную технологию поддержки опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала, позволяющую автоматизировать применение предложенного способа управления.

4. Предложить алгоритм синтеза альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные программы развития и скорректированные расписания проекта, в котором задействованы сотрудники, выбранные для развития компетенций.

5. Выполнить программную реализацию разработанной информационной технологии и провести ее апробацию на прикладных задачах управления процессом развития компетентностного потенциала.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения работы использовались положения теории управления организационными системами, методы эволюционного моделирования, методы теории расписаний, методы управления проектами, методы управления компетенциями. При разработке программных модулей, реализующих информационную технологию, использовались методологии и подходы объектно-ориентированного проектирования, разработки и автоматизированного тестирования программного обеспечения.

Научная новизна результатов работы:

1. Предложен способ опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, отличающийся явной оценкой потребностей **портфеля проектов** и изменяющейся **оперативной обстановки при выполнении проектов**. Предложенный способ использует модели оперативного управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, отличающиеся **совместным использованием моделей развития компетенций сотрудников и календарного планирования проектов** с учетом возможных издержек, связанных с превышением срока выполнения проектов (*п. 7 паспорта специальности 2.3.4*).

2. Разработана **информационная технология поддержки опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала** проектно-ориентированной организации на основе предложенного способа управления, отличающаяся возможностью использования данных о текущих и планируемых проектах, компетенциях сотрудников, обучающих мероприятий из различных источников данных. Информационная технология использует **эволюционный алгоритм синтеза недоминируемых альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные программы развития компетенций сотрудников и скорректированные расписания проекта**. (*п. 9, 10 паспорта специальности 2.3.4*).

Теоретическая значимость работы состоит в развитии известных способов управления в организационных системах за счет разработки новых и совершенствования существующих моделей и алгоритмов, позволяющих осуществлять опережающее управление процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации с учетом приоритетов проектной деятельности.

Практическая значимость работы:

1. Реализовано ядро программного комплекса управления КП, включающее разработанные модели оперативного управления КП ПОО и алгоритм синтеза локальных программ развития компетенций сотрудников.

2. Разработаны программные компоненты для интеграции с информационными системами проектно-ориентированных организаций, обеспечивающие импорт и экспорт данных о проектах, сотрудниках и их компетенциях.
3. Результаты работы внедрены в процесс управления персоналом в компаниях ООО «АйТи Про» (разработка проектов в сфере бизнес-аналитики, в штате более 60 экспертов в области хранилищ данных, г. Москва) и ООО «Специальный Технологический Центр» (разработка радиокомплексов, беспилотных летательных аппаратов, специализированного программного обеспечения и др., г. Санкт-Петербург).

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, позволяющий определить направление развития сотрудников с учетом планируемых проектов, а также возможные проекты-кандидаты для портфеля проектов исходя из возможности опережающего развития компетентностного потенциала.
2. Модели оперативного управления процессом развития КП, позволяющие учитывать при планировании программ развития компетенций сотрудников сетевой график проекта, вариативную длительность выполнения задач проекта, изменение расписания сотрудников на период прохождения обучающих мероприятий и возможные издержки при превышении планового срока выполнения проекта, в котором задействованы рассматриваемые сотрудники.
3. Информационная технология поддержки опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала, позволяющая автоматизировать применение предложенного способа и координацию между руководителем портфеля проектов, руководителями проектов и службой управления персоналом.
4. Эволюционный алгоритм синтеза недоминируемых альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные программы развития компетенций сотрудников и скорректированные расписания проекта, позволяющий в процессе формирования решения явно учитывать влияние программ развития компетенций на расписание проекта.

Личный вклад соискателя. Основные представленные в диссертационной работе научные результаты получены лично автором: способ опережающего управления КП ПОО; модели оперативного управления процессом развития КП ПОО; алгоритм синтеза альтернатив локальных программ развития компетенций сотрудников; информационная технология поддержки опережающего управления процессом развития КП ПОО. Постановка задач, корректировка материалов и формулировка положений научной новизны осуществлялись совместно с научным руководителем. При решении прикладных задач в рамках апробации результатов исследования в качестве экспертов в предметных областях привлекались Подвесовский А.Г., Калужских К.А.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ в том числе 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация научных результатов. Основные результаты работы докладывались на XII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 2017 г.), XIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 2018 г.), международной конференц-сессии «Государственное управление и развитие России: цивилизационные вызовы и национальные интересы» (Москва, 2023 г.), IV всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и творчество: вклад молодежи» (Махачкала, 2023 г.), IV всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в лесном секторе» (Санкт-Петербург, 2023 г.), XXIII международной научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2023 г.).

Структура и объем работы. Диссертация включает в себя введение, 4 главы, заключение, библиографический список из 134 наименований и 4 приложения. Объем диссертации составляет 161 страницу, диссертация содержит 34 рисунка и 51 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы особенности управления процессом развития компетентностного потенциала в проектно-ориентированных организациях.

Рассмотрен процесс управления ПОО с точки зрения основных задач, включающих управление портфелем проектов и управление различными видами обеспечивающих проектную деятельность ресурсов. Сформулировано понятие компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, в том числе как фактора, определяющего конкурентоспособность ПОО. Отмечено взаимное влияние компетентностного потенциала на управление портфелем проектов и наоборот. Рассмотрены ситуации, когда наличие необходимого набора компетенций соответствующих уровней является определяющим критерием принятия решения о начале работы над проектом-кандидатом и, соответственно, включения данного проекта в портфель проектов. Рассмотрены подходы к управлению процессом развития компетентностного потенциала, представленные в публикациях российских и иностранных исследователей.

Отмечена актуальность данной проблематики для ИТ-компаний, разрабатывающих большое количество программных проектов, вследствие чего нужно обращать особое внимание на управление компетенциями сотрудников, чтобы была возможность достигать поставленных целей и соответствовать потребностям со стороны заказчиков проектов. Сделан вывод, что эта задача является актуальной для многих предметных областей, имеющих подобные свойства.

Рассмотрены основные способы воздействия на компетентностный потенциал ПОО:

- найм новых специалистов с целевыми компетенциями;
- развитие компетенций сотрудников в результате решения проектных задач;
- повышение квалификации или переквалификация сотрудников в результате прохождения обучающих мероприятий.

Отмечена возможность формирования комплексного воздействия на КП ПОО в виде совокупности данных способов. При этом найм новых специалистов в ряде случаев может быть менее предпочтительным, чем развитие текущих сотрудников. Тем не менее, отвлечение сотрудников на обучение обычно негативно сказывается на сроках выполнения текущих задач и, как следствие, может привести к нарушению запланированных сроков сдачи текущих проектов. Поэтому обучение сотрудников должно быть спланировано так, чтобы не привести к серьезным проблемам с графиками выполнения текущих проектов. Также отмечено, что при осложнении оперативной обстановки при выполнении проектов планы по развитию компетенций сотрудников могут быть скорректированы.

Проанализированы возможности программного обеспечения для управления проектами и управления компетенциями сотрудников, сделаны выводы о возможности использования данных категорий программного обеспечения для организации процесса управления процессом развития компетентностного потенциала ПОО.

В результате проведенного анализа предметной области сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе предложен способ опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, модели оперативного управления компетентностным потенциалом, алгоритм синтеза альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные программы развития компетенций сотрудников и скорректированные расписания проекта.

Предложенный способ опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала ПОО включает следующие этапы (рисунок 1):

1) Определение текущего состояния КП. Оценка текущего состояния компетенций исходя из текущих активностей. Оценка выполнения текущих программ развития.

2) Определение целевого состояния КП. Анализ потребностей в компетенциях для текущего портфеля проектов. Анализ компетенций для рассматриваемых проектов (в т.ч. моделирование проектных команд).

3) Генерация альтернатив управляющего воздействия на КП. Генерация программ развития компетенций сотрудников, включающих влияние обучающих мероприятий на текущую проектную деятельность.

4) Оценка, согласование и утверждение предполагаемого управляющего воздействия на КП. Оценка издержек для альтернатив управляющего воздействия. Оценка влияния на текущие проекты. Выбор и утверждение приемлемых альтернатив.

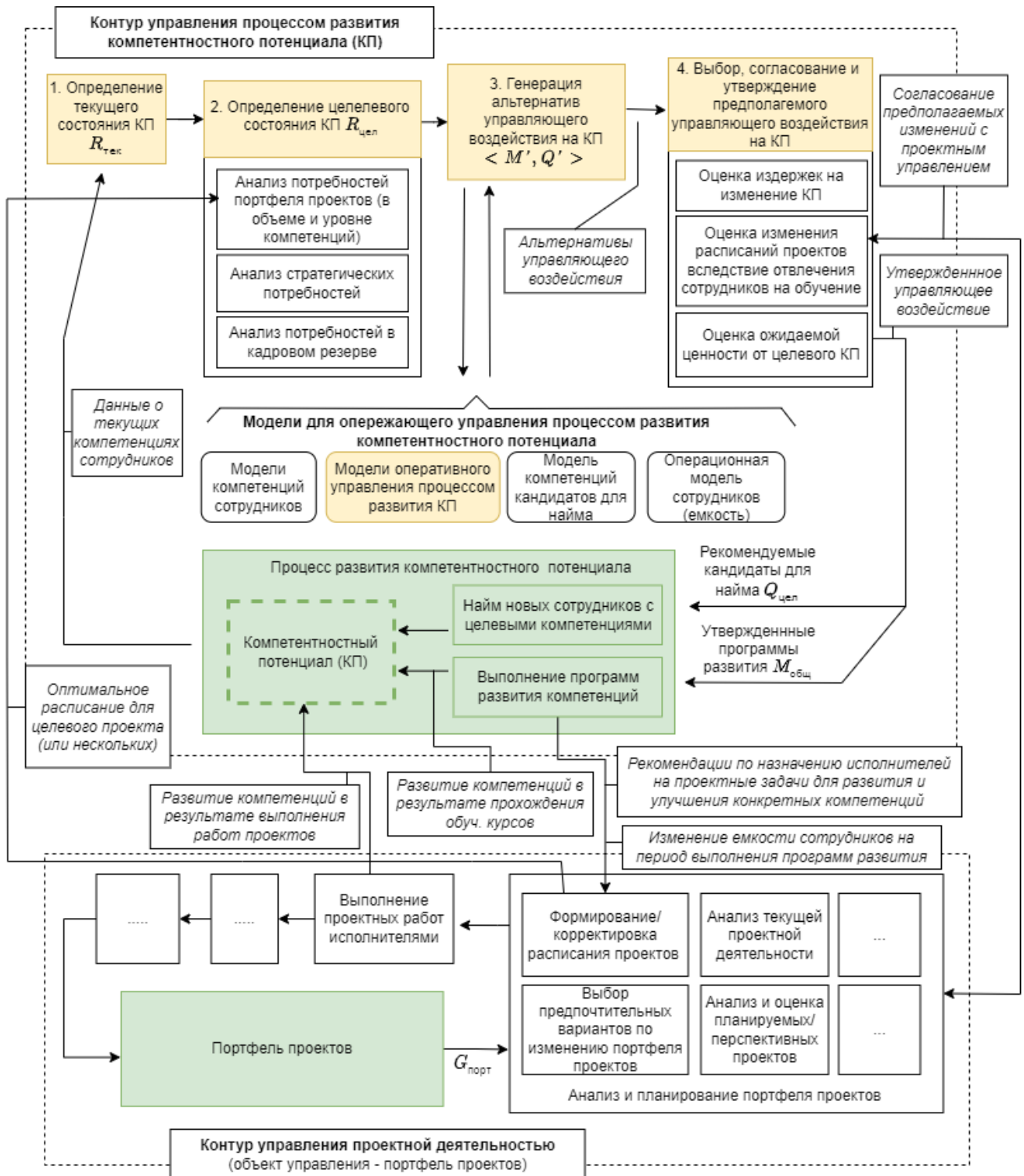


Рисунок 1 – Схема управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации

Процесс воздействия на КП может повлечь различные издержки – прямые материальные и временные. Отвлечение сотрудников на обучение может повлечь отставание по текущим проектам. Изменение структуры команды проекта или перераспределение задач с целью развития компетенций у целевых сотрудников может также негативно сказаться на выполнении текущих проектов – увеличится длительность выполнения и появятся дополнительные связанные с этим риски.

Если лицо, принимающее решение (ЛПР), устраивает предложенный вариант управляющего воздействия на КП, включая получаемые издержки и особенности влияния на работу над текущими проектами, то предполагаемое целевое состояние КП, которое планируется достичь, уже может учитываться при управлении портфелем. Таким образом, для включения в портфель проектов могут быть рассмотрены проекты-кандидаты с достаточно высокой эффективностью, но которые не могут быть выполнены с текущим состоянием КП.

Управление процессом развития компетентностного потенциала характеризуется набором параметров:

$$X = \langle R_{\text{тек}}, R_{\text{порт}}, R_{\text{цел}}, Z \rangle,$$

где $R_{\text{тек}}$ – текущее состояние компетентностного потенциала, $R_{\text{порт}}$ – КП необходимое для выполнения текущего портфеля проектов, $R_{\text{цел}}$ – целевое состояние КП исходя из совокупности потребностей портфеля проектов, Z – процесс развития КП.

Процесс развития КП Z характеризуется набором параметров:

$$Z = \langle M_{\text{общ}}, Q_{\text{цел}} \rangle,$$

где $M_{\text{общ}}$ – множество программ развития для целевого состояния КП, $Q_{\text{цел}}$ – множество кандидатов с требуемыми компетенциями, выбранных для найма.

Общие целевые показатели управления процессом развития КП ПОО определяются как:

$$\begin{cases} R_{\text{цел}} - R_{\text{тек}} \rightarrow \min, \\ Y_{\text{порт}} \rightarrow \min, \\ l_{\text{общ}} \rightarrow \min, \\ G_{\text{порт}} \rightarrow \max, \end{cases}$$

где $Y_{\text{порт}}$ – суммарное значение ожидаемых штрафов по проектам в соответствии с текущим темпом работы над выполняемыми проектами, $l_{\text{общ}}$ – суммарные издержки, связанные с запланированными обучающими мероприятиями для развития компетенций сотрудников, $G_{\text{порт}}$ – планируемая эффективность портфеля проектов.

Локальные программы развития в свою очередь формируются с учетом занятости сотрудников в текущих проектах. Для формирования локальной программы развития используются следующие модели:

1) Модель планирования проекта $P_{\text{план}}$ определяется как:

$$P_{\text{план}} = \langle B, T, D, C, Y \rangle,$$

где B – календарная дата начала работы над проектом, T – сетевой график задач проекта, D – матрица оценок длительностей выполнения задач в зависимости от уровней компетенций исполнителя (сформирована исходя из требований задач к компетенциям исполнителей и уровней компетенций участников проектной команды), C – расписания сотрудников на период работы над проектом, Y – штрафы при превышении запланированных сроков проекта.

Процедура формирования расписания проекта S определяется как:

$$S(P_{\text{план}}) = \langle A, F_{\text{план}}, Y_{\text{план}} \rangle,$$

где A – распределение задач между исполнителями, $F_{\text{план}}$ – плановые даты завершения задач, $Y_{\text{план}}$ – плановое значение штрафа исходя из даты завершения проекта.

2) Модель обучающих мероприятий E определяется как:

$$E = \langle \Delta R, o, f(c), l \rangle,$$

где ΔR – ожидаемое развитие компетенций сотрудника (исходя из используемой в организации модели оценки уровня компетенций, а также минимального допустимого уровня компетенций для прохождения), o – период прохождения мероприятия, $f(c)$ – функция изменения расписания сотрудника на период прохождения учебного курса, l – материальные издержки. В данном случае под расписанием понимается количество рабочего времени, которое сотрудник уделяет непосредственно работе над проектом.

3) Модель развития компетенций сотрудника в результате выполнения задач проекта:

$$r'_{\text{сотр}} = \text{learn}(r_{\text{сотр}}, A_{\text{сотр}}),$$

где $r_{\text{сотр}}$ – текущие уровни компетенций сотрудника, $A_{\text{сотр}}$ – назначенные сотруднику проектные задачи, $r'_{\text{сотр}}$ – ожидаемый уровень компетенций после выполнения назначенных задач.

Задача определения общей программы развития КП M до целевого уровня к определенному периоду N рассматривается как набор локальных задач определения множества более локальных программ m_i :

$$M = \langle m_1, m_2, \dots, m_i \rangle.$$

Соответственно, каждая такая локальная программа будет частично обеспечивать достижение целевого состояния $R_{\text{цел}}$:

$$R_{\text{цел}} = \langle r_1, r_2, \dots, r_i \rangle.$$

Таким образом, локальная задача определения программы m_i сводится к определению подходящих сотрудников и средств развития компетенций:

$$m_i = \langle r_i, w_i, e_i \rangle,$$

где r_i – целевое состояние КП для локальной задачи, w_i – множество сотрудников для развития компетенций, e_i – набор подходящих обучающих мероприятий. При этом $\forall m_i \in M, n(m_i) \leq N$, где n – оценка даты завершения программы обучения.

Определение локальной программы развития компетенций может быть построено вокруг отдельного текущего проекта, поэтому процедура формирования расписания проекта будет включать дополнительные параметры:

$$S(P_{\text{план}}, e_i) = \langle A, F_{\text{план}}, Y_{\text{план}} \rangle.$$

С учетом этого определение локальной программы развития компетенций m_i сводится к задаче:

$$\left\{ \begin{array}{l} \exists m_i = \langle r_i, w_i, e_i \rangle, \\ S = \text{schedule}(P_{\text{план}}, e_i), \\ y(S) \rightarrow \min, \\ d(S) \rightarrow \min, \\ l(e_i) \rightarrow \min, \\ n(m_i) \leq N \end{array} \right. , \quad (1)$$

где $y(S)$ – оценка штрафа проекта с учетом сформированного расписания проекта, $d(S)$ – длительность расписания проекта, $l(e_i)$ – оценка издержек, связанных с обучающими мероприятиями.

Таким образом, **локальная модель оперативного управления процессом развития компетентностного потенциала** определяется как:

$$h = \langle P_{\text{план}}, r_{\text{цел}}, E, N; m', s' \rangle, \quad (2)$$

где $P_{\text{план}}$ – характеристики рассматриваемого подпроекта, $r_{\text{цел}}$ – целевые уровни компетенций, E – множество обучающих мероприятий, N – дата завершения обучающей программы, m' – множество вариантов программы развития компетенций, s' – множество вариантов скорректированного расписания проекта.

Комплексная модель оперативного управления процессом развития КП определяется как множество локальных моделей управления:

$$H = \langle h_1, h_2, \dots, h_i \rangle.$$

Для синтеза альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные *программы развития компетенций и скорректированные расписания проекта* предложен авторский *эволюционный алгоритм*, который базируется на генетическом алгоритме Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA 2).

При определении альтернатив управленческих решений требуется решать задачу *построения расписания проекта с ограниченными ресурсами с учетом множества навыков* (Multi-Skill Resource Constrained Project scheduling problem, MS-RCPSP), которая относится к классу задач многокритериальной оптимизации и является NP-сложной. Алгоритм SPEA 2 подходит для решения задач такого класса. Среди особенностей SPEA 2 можно отметить следующее:

- 1) Использование двух типов популяций заданного размера – основной P , где накапливаются доминируемые по Парето особи, и внешней $\bar{P}$, где накапливаются недоминируемые.
- 2) Вычисление функции приспособленности особи выполняется как $F(i) = R(i) + D(i)$, где $R(i)$ – мера силы доминирования i особи относительно остальных особей основной и внешней популяции, $D(i)$ – мера плотности для i особи на основе инвертированного расстояния k -средних.
- 3) Для формирования нового поколения особей предварительно создается новая внешняя популяция $\bar{P}_{t+1}$ как объединение недоминируемых особей из основной P_i и внешней $\bar{P}_i$ популяций с предыдущего шага. Если размер $\bar{P}_{t+1}$ внешней популяции превышает заданный размер $\bar{N}$, то происходит отсечение избыточных особей на основе меры $D(i)$.
- 4) Если количество итераций t превысило T , то алгоритм завершается. Результат алгоритма A (т.е. набор недоминируемых особей) будет содержаться во внешнем множестве $\bar{P}_{t+1}$.
- 5) К множеству $\bar{P}_{t+1}$ применяются операции мутации и скрещивания, выполняется турнирная селекция. Затем происходит отбор новых недоминируемых особей во внешнее множество.

Рассмотрим **ключевые особенности** предложенного *алгоритма*.

Входные параметры алгоритма: сетевой график задач проекта T ; данные длительности выполнения задач с учетом уровней компетенций исполнителей D ; уровни компетенций исполнителей r , которые рассматриваются как ресурсы; S – календарный график доступности сотрудников; дата начала проекта B ; целевые уровни компетенций указанных сотрудников $r_{\text{цел}}$; данные обучающих мероприятий, характеризующих степень развития компетенций, начало и завершение прохождения обучения, степень влияния на расписание сотрудника на период обучения E ; функция развития компетенций сотрудников в результате выполнения задач проекта $learn(r_{\text{сотр}}, A_{\text{сотр}})$; данные штрафов проекта при превышении сроков выполнения Y .

Результатом работы алгоритма является множество недоминируемых альтернатив $\langle m', s' \rangle$, где m' – локальная программа развития компетенций, s' – скорректированное расписание проекта.

Недоминируемость сформированных альтернатив решений обусловлена противоречивыми критериями сравнения:

$$\begin{cases} r_{\text{цел}} - r_i \rightarrow \min \\ y(S) \rightarrow \min, \\ d(S) \rightarrow \min, \\ l(e_i) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (3)$$

где $r_{\text{цел}} - r_i$ – разница между целевыми уровнями компетенций и ожидаемыми, $y(S)$ – оценка штрафа проекта с учетом сформированного расписания проекта, $d(S)$ – длительность расписания проекта, $l(e_i)$ – оценка издержек, связанных с обучающими мероприятиями.

Получение множества недоминируемых альтернатив позволяет упростить принятие управленческих решений, поскольку ЛПР, как правило, обладает дополнительной информацией о ситуации и может выбрать оптимальную альтернативу из подготовленного алгоритмом множества.

Кодирование особи представляет комбинацию параметров: приоритезация очередности выполнения задач p_i , для задач случайным образом назначается приоритет p_i очередности (от 0 до 4), подходящий по уровню компетенции исполнитель a_i , выбранные обучающие мероприятия для сотрудников e_{ij} . Данные особи позволяют сформировать локальную программу развития компетенций m' и расписание проекта s' (рисунок 2).

Процедура формирования расписания проекта:

1. Сформировать приоритезированную очередь из незаблокированных задач q .
2. Определить подходящих исполнителей для решения задач исходя из соответствия уровней компетенций требованиям задач c_{rt} .
3. Извлечь из очереди первый элемент (задачу) t .
4. Определить дату начала задачи $start_t$:
 - 4.1.определить ресурс r_i , которому назначена задача;
 - 4.2.определить минимально раннее время начала работы над задачей по максимальному времени завершения зависимых задач $busy_r$;

- 4.3. установить время начала задачи как максимум из минимального возможного времени начала задачи относительно зависимостей и времени освобождения текущего ресурса $start_t$;
5. Определить дату завершения задачи $finish_t$:
 - 5.1. определить базовую длительность выполнения задачи для назначенного исполнителя $time_t$ исходя из оценки длительности задачи и календарной доступности исполнителя;
 - 5.2. определить длительность выполнения относительно расписания ресурса (если есть какие-то модификаторы);
 - 5.3. установить дату завершения работы $finish_t = start_t + time_t$.
6. Обновить время занятости ресурса как дату завершения задачи $busy_r = finish_t + 1$.
7. Добавить в приоритизированную q очередь незаблокированные задачи q' .
8. Если очередь непустая, то перейти к п.2, иначе завершить процедуру.

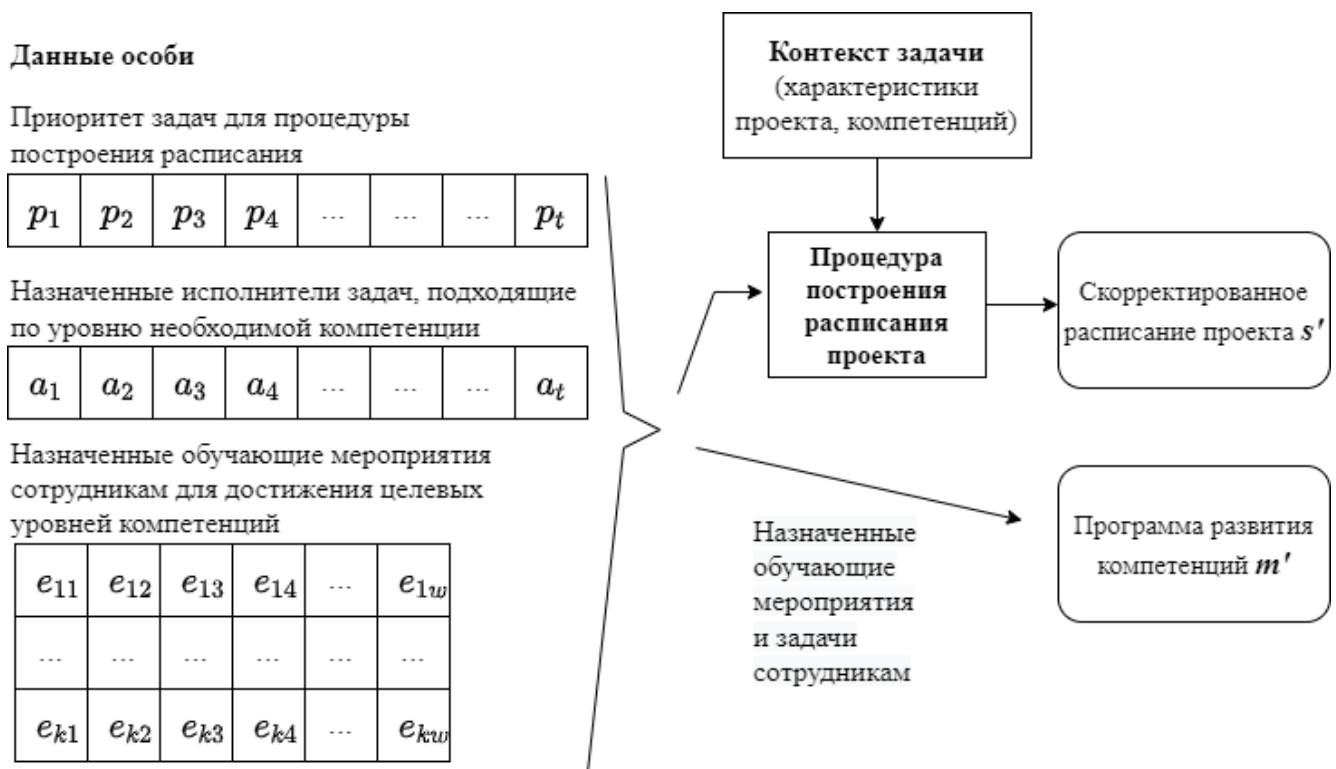


Рисунок 2 – Кодирование особи для алгоритма

Для получения новой популяции особей в алгоритме используется типовой **однородный кроссингвер** (вероятность 0.7) и специальный **оператор мутации** (вероятность 0.2) (см. рисунок 3).

В третьей главе предложена информационная технология (ИТ) поддержки опережающего управления процессом развития компетентностного потенциала ПОО, архитектура программного комплекса (ПК) управления процессом развития КП. ИТ обеспечивает автоматизацию предложенного способа опережающего управления с поддержкой моделей оперативного управления. В рамках ИТ обеспечивается взаимодействие основных заинтересованных лиц – руководителя

портфеля проектов, руководителей проектов и службы управления персоналом, а также выполнять импорт большинства исходных данных о проектах и компетенциях сотрудников из уже используемых информационных систем (ИС) или других источников данных (рисунок 4). ИТ позволяет охватить подготовку и согласование решений для большинства задач управления процессом развития КП.

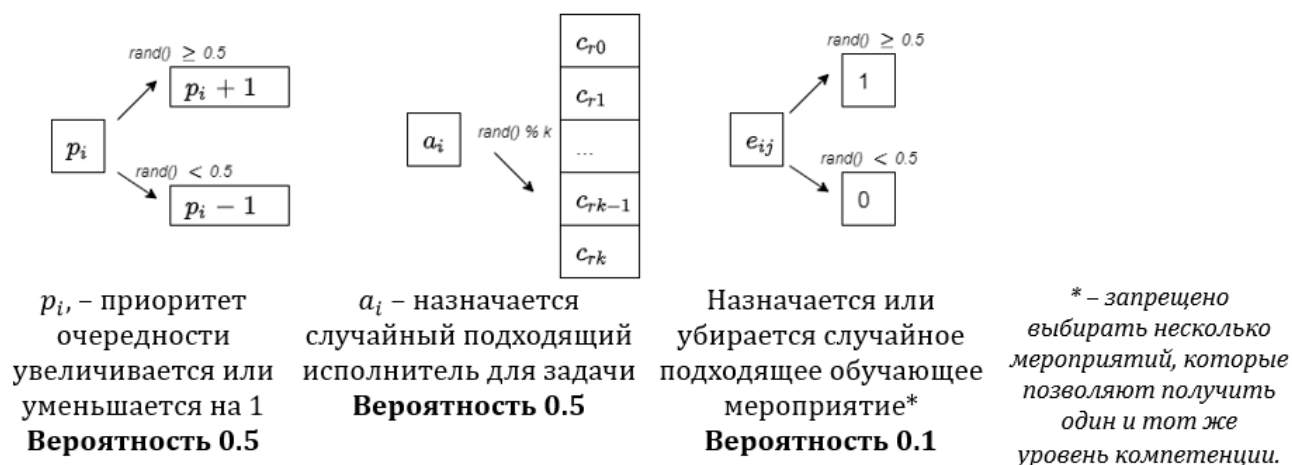


Рисунок 3 – Мутация генов особи для различных типов блоков



Рисунок 4 – Сценарии использования информационной технологии поддержки опережающего управления процессом развития КП ПОО

Ядро и модули программного комплекса, используемого в предложенной ИТ, реализованы с использованием языков программирования и средств разработки .Net, C#, JavaScript, HTML, CSS. Реализованы программные компоненты для интеграции с информационными системами предприятия для обмена данными о компетенциях сотрудников и проектах.

Проведено моделирование оценки эффективности использования предложенной ИТ на основе оценок трудоемкости базовых операций при регулярном формировании программ развития компетенций сотрудников. Применение ИТ достаточно эффективно при отношении распределения рассматриваемых кандидатов для развития компетенций к количеству проектов, в которых эти кандидаты задействованы, более 2-3.

В четвертой главе описаны результаты апробации разработанного способа управления, моделей, алгоритма в рамках информационной технологии. Результаты исследования апробированы в двух прикладных областях.

Апробация проводилась в компаниях ООО «АйТи Про» и ООО «Специальный Технологический Центр». Данные компании ежегодно реализуют большое количество проектов, как в области прикладного программного обеспечения, так и в других – радиокомплексы, БЛА, средства защиты информации. Сферы деятельности компаний активно развиваются, поэтому требуется постоянное профессиональное развитие текущих компетенций и освоение новых для большого количества сотрудников разных специальностей.

В компании ООО «АйТи Про», специализирующейся на разработке решений в сфере бизнес-аналитики, апробация проводилась в рамках отдела разработки, состоящего из 42 сотрудников, непосредственно занятых в проектной деятельности. В рамках проведения эксперимента требовалось определить группу из 4-5 сотрудников для обучения среди 12 разработчиков, которые участвовали на данный момент в трех проектах. Данная апробация выполнялась в течение двух месяцев в два этапа: формирование и согласование комплексной программы развития сотрудников, затем – регулярная корректировка план-графиков проектов в процессе прохождения обучения с учетом изменившейся обстановки на проектах. Для обоих этапов сравнивались трудозатраты для выполнения указанных задач без использования предложенной ИТ и с ее использованием.

Использование результатов исследования позволило:

1) обеспечить возможность подбора целевого состояния компетентностного потенциала в произвольный момент времени за счет автоматизированной загрузки данных о текущих и прогнозируемых уровнях компетенций сотрудников, рассматриваемых потребностях портфеля проектов и возможных программ развития компетенций;

2) уменьшить на 31% трудоемкость процесса формирования программ развития компетенций с учетом возможных корректировок план-графиков текущих проектов при планировании обучения сотрудников;

3) уменьшить трудоемкость корректировки план-графиков в процессе выполнения программ развития компетенций на 56% при изменении оперативной обстановки на текущих проектах.

В рамках апробации в ООО «Специальный Технологический Центр» решались задачи управления процессом развития КП в отделе разработки системного и прикладного программного обеспечения, включающего 20 разработчиков ПО. В процессе апробации было сформировано 4 локальных программы развития компетенций, а также проводилась регулярная корректировка

данных программ развития и соответствующих план-графиков проектов. При этом для развития целевых компетенций рассматривалось выполнение проектных задач. Трудоемкость выполняемых задач управления оценивалась как с использованием предложенной ИТ, так без ее применения. Использование ИТ позволило: снизить на 27% трудоемкость процесса формирования программ развития компетенций, снизить на 51% трудоемкость корректировок план-графиков проектов, а также получать в 41% случаев распределение проектных задач по исполнителям, обеспечивающее меньшую общую продолжительность проектов. Также ИТ применялась для формирования план-графиков проекта без формирования программы развития компетенций.

Модельная оценка, проведенная в главе 3, была подтверждена экспериментальными данными по итогам выполненных апробаций.

Масштабирование полученных результатов при регулярном применении ИТ в рассмотренных компаниях предполагает потенциал экономии трудозатрат порядка 9 человек-дней в год и более.

Также продемонстрировано применение предложенных моделей и алгоритма для организаций, которые в явном виде не являются проектно-ориентированными. Был проведен модельный расчет распределения части учебной нагрузки между преподавателями в Брянском государственном техническом университете на выпускающей кафедре «Информатика и программное обеспечение» с учетом ограничения по объему учебной нагрузки на ставку. Задача перераспределения нагрузки рассматривалась как проект, виды учебной нагрузки как задачи проекта, для выполнения которых требуются определенные уровни компетенций. Результаты модельного расчета позволили сделать вывод о возможности применения элементов предложенного способа управления КП в сфере управления образовательной деятельностью выпускающей кафедры вуза.

В заключении сформулированы выводы по результатам проведенного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача повышения эффективности управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организации, имеющая значение для развития технологий управления проектами в области промышленной разработки программного обеспечения.

Основные выводы и результаты работы заключаются в следующем.

1. Предложен способ опережающего управления процессом развития КП ПОО, отличающийся непосредственной оценкой потребностей портфеля проектов и оперативной обстановки при выполнении проектов. Способ учитывает пересечение задач управления процессом развития КП и управления проектной деятельностью.

2. Разработаны модели оперативного управления процессом развития компетентностного потенциала ПОО, позволяющие формировать программу развития целевых компетенций сотрудников к выбранному периоду,

отличающиеся совместным использованием моделей развития компетенций сотрудников и календарного планирования проектов, включая возможные издержки, связанные с превышением срока выполнения проектов.

3. Разработана ИТ поддержки опережающего управления процессом развития КП на основе предложенного способа управления, отличающаяся возможностью использования данных о текущих и планируемых проектах, компетенциях сотрудников, обучающих мероприятий из различных источников данных. Программная реализация ИТ позволяет автоматизировать подготовку и согласование решений для большинства задач управления процессом развития КП. Разработанные для интеграции с ИС программные компоненты могут быть доработаны для других ИС, что упростит возможное внедрение.

4. Предложен эволюционный алгоритм синтеза недоминируемых альтернатив управленческих решений, объединяющих локальные программы развития компетенций сотрудников и скорректированные расписания проекта. Установлено, что сформированные варианты скорректированных расписаний проекта с учетом программ развития компетенций позволяют упростить принятие соответствующих управленческих решений.

5. Выполнена модельная оценка целесообразности применения разработанной ИТ в зависимости от численности сотрудников ПОО и количества ежегодно выполняемых проектов. Результаты моделирования показали, что применение ИТ целесообразно для компаний с более чем 50 сотрудниками.

6. Проведена апробация предложенного способа управления, моделей и алгоритма в рамках информационной технологии при решении прикладных задач управления процессом развития КП ПОО в компаниях ООО «АйТи Про» и ООО «Специальный Технологический Центр». Использование ИТ позволило:

- уменьшить на 27-31% трудоемкость процесса формирования программ развития компетенций с учетом возможных корректировок план-графиков текущих проектов при планировании обучения сотрудников;
- уменьшить трудоемкость корректировки план-графиков в процессе выполнения программ развития компетенций на 51-56% при изменении оперативной обстановки на текущих проектах;
- получать более чем в 40% случаев план-графики проектов, обеспечивающие меньшую общую продолжительность проектов.

7. Установлена возможность применения программной реализации ИТ для планирования работ проекта и формирования сетевых графиков в рамках процессов управления проектами.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

1. **Калевко, В.В.** Управление образовательной программой вузов в контексте подготовки конкурентоспособных разработчиков программного обеспечения / В.В. Калевко, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовский // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 4. – С. 803-814.

2. **Калевко, В.В.** Управление компетентностным потенциалом проектно-ориентированных организационных систем в контексте планирования ИТ-проектов / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 4(44). – С. 160-180.
3. **Калевко, В.В.** Модели оперативного управления компетентностным потенциалом сотрудников проектно-ориентированной организации / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – № 2(20). – С. 77–88.
4. **Калевко, В.В.** Информационная технология управления компетентностным потенциалом сотрудников проектно-ориентированной организации / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv, К.А. Калужских // Системы управления и информационные технологии. – 2023. – № 3(93). – С. 80-85.
5. **Калевко, В.В.** Особенности применения информационной технологии управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной ИТ-компании / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – № 4(22). – С. 64–73.

Публикации в прочих изданиях

6. **Калевко, В.В.** Программный комплекс «Автоматизированное рабочее место преподавателя» / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv, А.Г. Подвесовский // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сборник научных трудов II Международной научной конференции и XII Международной научно-практической конференции, Москва, 24–26 ноября 2017 года / М.: Лаборатория открытых информационных технологий факультета ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. – С. 197–205.
7. **Калевко, В.В.** Исследование рынка труда ИТ-специалистов на основе метода кластеризации транзакций / В.В. Калевко // Новые горизонты: Материалы V Международной научно-практической конференции, Брянск, 20 апреля 2018 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 158–161.
8. **Калевко, В.В.** Применение информационной технологии управления процессом развития компетентностного потенциала для задач управления учебным процессом вуза / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv // Цифровые технологии в лесном секторе: материалы IV Всероссийской научно-технической конференции, 19-20 октября 2023 г. / Под. ред. А.А. Добровольского. – СПб.: СПбГЛТУ, 2023. – С. 39-42.
9. **Калевко, В.В.** Интеграция программных средств управления компетенциями в рамках информационной технологии для проектно-ориентированных организаций / В.В. Калевко, Д.Г. Лагереv // Наука и творчество: вклад молодежи: материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 8-9 ноября 2023 г. – Махачкала: Формат, 2023. – С.69-71.
10. **Калевко, В.В.** Применение информационной технологии управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организационной системы в ИТ-компании / Калевко В.В., Лагереv Д.Г. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. ст. XXIII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию Пензенского государственного университета (г. Пенза, 24–25 ноября 2023 г.) / под ред. А.В. Кузьмина, В.В. Дрождина. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. – С. 111-115.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

11. Библиотека ядра программного комплекса для управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированных организаций: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612193 Российская Федерация / **В.В. Калевко.** – № 2023688722; заявл. 17.12.2023; опубл. 29.01.2024. – Бюл. № 2. – 1 с.

Калевко Виктор Васильевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЕКТНО-
ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

*Подписано в печать 28.08.2024. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Офсетная печать. Печ. л. 1. Т. 100 экз. Заказ № _____. Бесплатно.*

*Брянский государственный технический университет
241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Лаборатория оперативной печати БГТУ, ул. Институтская, 16*