



На правах рукописи

Петров Михаил Владимирович

**МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ
СЕТЯХ**

Специальность 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН) в лаборатории интегрированных систем автоматизации.

Научный руководитель: **Смирнов Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории интегрированных систем автоматизации СПб ФИЦ РАН

Официальные оппоненты: **Гаврилова Татьяна Альбертовна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных технологий в менеджменте Высшей школы менеджмента ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет».
Водяхо Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной техники ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Защита диссертации состоится **30 июня 2022 г. в 14 часов 00 минут** на заседании диссертационного совета 24.1.206.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН) по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, каб. 401, e-mail: dc@spcras.ru, факс: +7 (812) 328 44 50 тел: +7 (812) 328 33 11.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в отделе аспирантуры (каб. 402а) Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН) по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14-а линия В.О., 39 и на сайте <http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/>

Автореферат разослан 17 мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.206.01
кандидат технических наук



Абрамов Максим Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время компетенции имеют основополагающее значение в управлении знаниями и способностями агентов во многих областях применения. Эффективное управление человеческими ресурсами предотвращает чрезмерные издержки, улучшает качество продуктов и услуг и способствует лучшему планированию рабочей силы. Между тем, использование экспертных сетей помогает отраслям в принятии стратегических решений, выявлении неиспользуемых компетенций, прогнозировании будущих ожидаемых компетенций. Применение экспертных сетей направлено на улучшение бизнес-процессов компании на основе ноу-хау и инновационных технологических решений.

В условиях большого количества информации сложно поддерживать её достоверность и извлекать из неё знания, что определяет **важность** и **значимость** решаемой научной задачи. Поэтому актуальной задачей является повышение эффективности управленческих решений в корпоративных экспертных сетях на основе автоматизации процессов, связанных с извлечением, структурированием и использованием информации и знаний об инновациях, проектах и экспертах. Метод, обеспечивающий информационную поддержку таких процессов, может применяться для решения данной задачи за счёт обработки и предоставления пользователю только самой необходимой информации и возможных вариантов решений.

Степень разработанности темы. Аналитический обзор подходов в области управления командами, компетенциями экспертов, инновациями и проектами показал, что данные области достаточно хорошо изучены. Тем не менее, эти области рассматриваются отдельно и метод, включающий в себя комплексное управление командами, инновациями, проектами и компетенциями экспертов, не описан в рассмотренных работах.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности управленческих решений в корпоративных экспертных сетях на основе автоматизации процессов, связанных с извлечением, структурированием и использованием информации и знаний об инновациях, проектах и экспертах.

Цель работы достигается совокупным решением следующих **задач**.

1. Выявить особенности, которые необходимо учитывать при разработке метода интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.
2. Разработать концептуальную и математическую модели интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.
3. Разработать алгоритм идентификации потенциальных инноваций на основе статистического анализа доступных документов и оценок экспертов.
4. Разработать алгоритм заполнения профиля проекта на основе сопоставления извлекаемых требований с онтологией компетенций.

5. Разработать алгоритм формирования вариантов команд экспертов на основе онтологии компетенций для совместного выполнения проектов.

6. Разработать алгоритм автоматизированной актуализации компетенций экспертов на основе результатов совместного выполнения проектов и степени вовлечения в них экспертов.

7. Разработать метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

8. Разработать программный комплекс, реализующий метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в корпоративной экспертной сети.

9. Провести экспериментальные исследования разработанных метода и алгоритмов, подтверждающие повышение эффективности принятия управленческих решений.

Объектом исследования работы являются процессы принятия управленческих решений в экспертных сетях.

Предметом исследования работы являются модели, алгоритмы и метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экспертных сетях.

Научная новизна диссертационной работы определяется тем, что:

1. Разработан метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, который заключается в извлечении, обработке и предоставлении эксперту-менеджеру информации и знаний об инновациях, проектах и экспертах, основан на совокупности новых алгоритмов, направленных на автоматизацию процессов, использующих эти информацию и знания, и отличается комплексным подходом к управлению знаниями на различных этапах реализации проектов;

2. Создан алгоритм идентификации потенциальных инноваций, который отличается автоматизированным выявлением инновационных терминов на основе статистического анализа доступных документов и оценок экспертов;

3. Создан алгоритм заполнения профиля проекта на основе сопоставления извлекаемых требований к экспертам с онтологией компетенций, который отличается использованием технологии веб-сканера для идентификации требований к профессиональным компетенциям исполнителей проектов;

4. Создан алгоритм формирования вариантов команд экспертов на основе онтологии компетенций, который отличается применением различных критериев оптимизации состава команд в зависимости от стратегических целей компании;

5. Создан алгоритм автоматизированной актуализации компетенций экспертов, который отличается использованием формализованных факторов успешности проектов и степени вовлечения экспертов в совместное выполнение проектов.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке новых моделей, алгоритмов и метода принятия решения в области управления объектами и процессами в экспертных сетях с целью повышения эффективности их использования.

Практическая значимость работы определяется повышением оперативности и обоснованности управленческих решений за счёт реализации метода в виде программного комплекса, включающего в себя программные модули, выполняющие функции: выявления потенциальных инноваций; отображения потенциальных инноваций и поддержки голосования за их внедрение; заполнения профиля проекта; формирования вариантов команд экспертов для совместного выполнения проектов; анализа результатов совместного выполнения проектов и актуализации компетенций участников.

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационного исследования использованы методы системного анализа и синтеза, интеллектуальной обработки данных, методы математического моделирования для построения формализованных моделей исследуемых объектов и протекающих в них информационных процессов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в корпоративных экспертных сетях;
2. Алгоритм идентификации потенциальных инноваций на основе статистического анализа доступных документов и оценок экспертов;
3. Алгоритм заполнения профиля проекта на основе сопоставления извлекаемых требований к экспертам с онтологией компетенций;
4. Алгоритм формирования вариантов команд экспертов на основе онтологии компетенций для совместного выполнения проектов;
5. Алгоритм автоматизированной актуализации компетенций экспертов на основе результатов совместного выполнения проектов и степени вовлечения в них экспертов.

Представленные результаты соответствуют специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов подтверждается корректным использованием математических методов, обоснованием постановки задач, использованием результатов в научно-исследовательских работах с компанией FESTO, экспериментальными исследованиями. Основные результаты исследования представлены на 7 международных конференциях: DTGS, St.Petersburg, Russia, 30 May - 2 June 2018; FRUCT 23, Bologna, Italia, 13-16 November 2018; FRUCT 25, Helsinki, Finland, 5-8 November 2019; FRUCT 26, Yaroslavl, Russia, 23-24 April 2020; CSCE'20, Las Vegas, 27-30 July 2020; ICEIS 23, Prague, Czech Republic, 26-28 Apr 2021; FRUCT 29, Tampere, Finland, 12-14 May 2021.

Публикации. По представленным в диссертационной работе результатам опубликовано 11 статей в рецензируемых научных изданиях, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК и 7 работ, включённых в систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Система управления компетенциями участников экспертной сети» № 2019613215 от 12.03.2019.

Личный вклад соискателя. Результаты по положениям, выносимым на защиту в диссертационной работе, получены автором самостоятельно, в частности разработаны алгоритмы формирования вариантов команд экспертов и автоматизированной актуализации компетенций экспертов. Лично автором разработаны концептуальная модель и формальная постановка задачи интеллектуальной поддержки принятия решений в корпоративных экспертных сетях. Разработка алгоритмов идентификации потенциальных инноваций и заполнения профиля проекта осуществлена совместно с научным руководителем, причем вклад соискателя в совместных публикациях был значительным.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (142 источника). Содержит 123 страницы текста, включая 7 таблиц и 35 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемой научной задачи, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна, представлены теоретическая и практическая значимость работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава включает в себя аналитический обзор подходов, используемых в области принятия управленческих решений (ПУР), связанных с информацией об экспертах и проектах. Проанализированы схожие подходы для выявления требований и принципов интеллектуальной поддержки ПУР (ИППУР). Описаны решения, принимаемые в экспертных сетях (ЭС).

Аналитический обзор подходов в области управления командами, компетенциями экспертов, инновациями и проектами показал, что данные области достаточно хорошо изучены. При управлении командами широко распространён подход, заключающийся в формализации задачи управления проектными группами и применении известных алгоритмов, в частности, решений задачи о назначениях. При управлении инновациями в основном рассматривается извлечение знаний из внешних источников (Интернет) и внутренних ресурсов (экспертов компании). Управление компетенциями экспертов обычно подразумевает курсы и программы для развития навыков либо программы и системы, направленные на проверку текущего уровня владения компетенциями. Тем не менее, эти области рассматриваются отдельно и метод, включающий в себя комплексное управление командами, инновациями, проектами и компетенциями экспертов, не описан в рассмотренных работах.

В результате анализа методов, используемых в корпоративных экспертных сетях, были выявлены распространённые особенности, которые можно выделить как требования к ИППУР: использование дискретных уровней компетенций; использование бинарной матрицы для полученных результатов; последовательное улучшение найденных решений; представление альтернативных результатов, удовлетворяющих требованиям.

В результате анализа научной литературы, посвящённой системам и методам ИППУР, были выявлены основные принципы построения систем такого класса: использование как методов системного анализа и математического моделирования, так и интеллектуального анализа внутренних и внешних данных для обработки информации, связанной с процессами компании; категоризация и фильтрация доступной информации для вывода пользователю возможных решений; использование методов коллективного принятия решений для агрегации знаний экспертов; учёт общих макроэкономических тенденций в стране и на финансовых рынках.

В таблице 1 представлены управленческие решения, связанные с поддержкой проектов на разных этапах их жизненных циклов. Для каждого решения описана его задача, критерии применимости доступных для выбора альтернатив, а также входные и выходные данные. Процессы принятия этих решений, кроме выбора команды экспертов, могут быть автоматизированы за счёт применения метода ИППУР.

Таблица 1 — Управленческие решения в корпоративных ЭС

Управленческое решение	Задача	Критерии	Входные данные	Выходные данные
Идентификация потенциальных инноваций (инициализация проекта)	Поиск информации о актуальных технологиях	Актуальность терминов, связанных с инновациями	Тексты статей со специализированных источников	Потенциальные инновации
Формирование профилей проектов (инициализация проекта)	Поиск информации о требованиях для внедрения технологий	Востребованность компетенций для инновации	Потенциальные инновации	Требования к компетенциям экспертов
Формирование команд экспертов (планирование проекта)	Поиск вариантов команд экспертов-исполнителей для внедрения технологии	Минимизация стоимости работы; максимизация знаний команды	Требования к компетенциям экспертов, информация о компетенциях экспертов	Варианты команд экспертов-исполнителей, отсортированные в соответствии с критериями
Выбор команды экспертов	Назначение команды экспертов	Соответствие стратегическим целям компании	Варианты команд экспертов	Эксперты-исполнители проекта

(планирование проекта)	для внедрения технологии			
Анализ результатов выполнения (завершение проекта)	Поддержка актуальности информации об экспертах компании	Важность компетенций экспертов-исполнителей для результата проекта	Эксперты (исполнители проекта), результаты выполнения	Изменения компетенций экспертов

Для оценки выполнения цели работы были выявлены критерии эффективности ПУР. Количественные критерии включают в себя уменьшение времени, затрачиваемого на полный цикл выполнения проекта и окупаемость применения метода. Качественные критерии включают в себя учёт стратегических целей компании при формировании проектных команд и поддержку актуальности указанных уровней владения компетенциями экспертов.

Во второй главе предложена формальная постановка задачи ИППУР в ЭС, описана модель жизненного цикла проекта, представлен метод ИППУР.

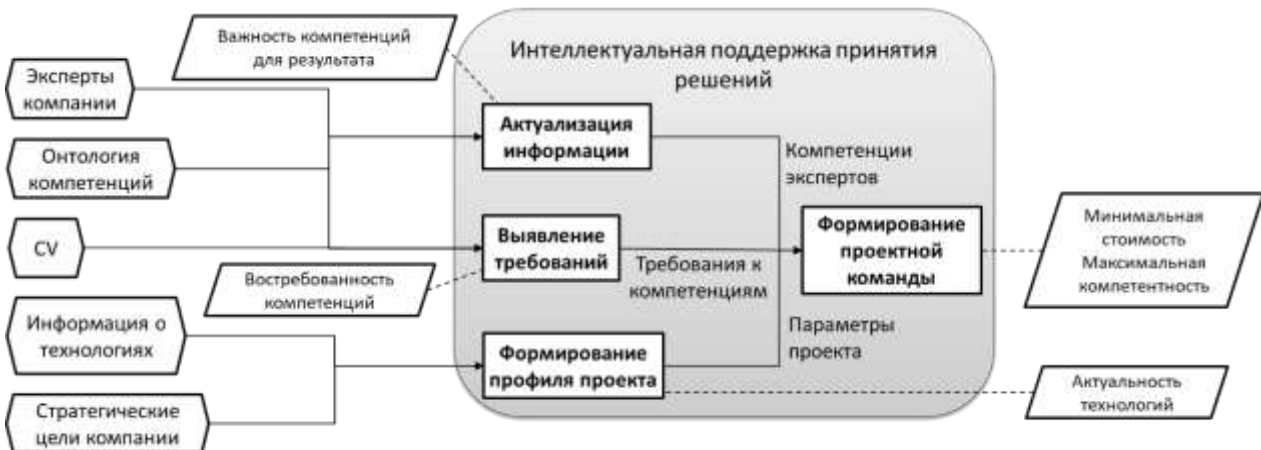


Рисунок 1 — Интеллектуальная поддержка принятия решений в корпоративных ЭС

На рисунке 1 показаны процессы, входящие в ИППУР, критерии, входные и выходные данные для них. Метод ИППУР обеспечивает поддержку выполнения этих процессов в соответствии с критериями и предоставляет указанные на рисунке информацию и знания эксперту-менеджеру, принимающему управленческие решения.



Рисунок 2 — Концептуальная модель ИППУР

Концептуальная схема ИППУР (см. рисунок 2) отображает взаимосвязь между методом ИППУР, алгоритмами, которые он включает, онтологией компетенций и профилями экспертов и проектов в ЭС. Метод ИППУР заключается в извлечении, обработке и предоставлении информации об инновациях, проектах и экспертах, которая необходима для эффективного ПУР. Данные задачи решаются с помощью 4 алгоритмов, которые обеспечивают автоматизацию процессов, связанных с извлечением и структурированием необходимой информации, хранящейся на уровне знаний в онтологии компетенций. Алгоритмы выполняются последовательно, при этом их выходные данные корректируются менеджером и используются в качестве входных данных для следующего алгоритма. Благодаря этому обеспечивается комплексный подход к управлению знаниями на различных этапах реализации проектов. Уровень объектов ЭС содержит профили экспертов и проектов, информацию для которых предоставляет метод ИППУР. Таким образом, алгоритмы формирования вариантов команд экспертов и актуализации компетенций экспертов обеспечивают поддержку ПУР, связанных с информацией об экспертах, а алгоритмы идентификации инноваций и заполнения профиля проекта обеспечивают поддержку ПУР, связанных с информацией о проектах.

Научная задача, решаемая в работе, сводится к поиску и предоставлению актуальной информации и знаний, необходимых эксперту-менеджеру для принятия управленческих решений в корпоративных ЭС. Эта задача состоит из четырёх подзадач: актуализация используемой информации о компетенциях экспертов, выявления требований к ним, формирование профиля проекта, формирование проектной команды. Метод ИППУР включает алгоритмы, выполняющие каждую из этих подзадач. В качестве входной информации используются компетенции в профилях экспертов-исполнителей, текущие стратегические цели компании, а также статьи об инновационных технологиях. Выходная информация и знания

должны содержать потенциальные инновационные технологии, требования к компетенциям экспертов для их внедрения и профили экспертов-исполнителей компании, подходящих под данные требования. Алгоритмы метода ИППУР предоставляют эту информацию и знания друг другу и менеджеру, обеспечивая повышение эффективности управленческих решений.

Профили экспертов представлены в виде множества: $P = \{P_m | m = \overline{1, M}\}$, где M – количество экспертов в компании. Компетенции экспертов выбираются из множества компетенций компании: $S = \{S_n | n = \overline{1, N}\}$, где N – число компетенций компании. Для каждой из них определены уровни владения. Компетенции экспертов представлены в виде матрицы $L = |l_{mn}|_{M \times N}$, где l_{mn} – уровень владения компетенцией S_n экспертом P_m для любых $m = \overline{1, M}$, $n = \overline{1, N}$. Также для любого $m = \overline{1, M}$ существует профиль эксперта, содержащий: C_m – стоимость часа работы эксперта; $b_m = e^{B_m}$ – степень загруженности эксперта, где B_m – число незавершённых проектов, в которых участвует эксперт; $A_m \in [0; 1]$ – текущая доступность эксперта; Exp_m – число месяцев работы эксперта в компании. Для формирования слаженных команд экспертов используется матрица психологической совместимости $R = |r_{ij}|_{M \times M}$, где r_{ij} – степень влияния эксперта P_i на эффективность работы эксперта P_j , $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, M}$.

При формировании команды для проекта z необходимо учитывать: $req^z = (req_1^z, \dots, req_N^z)$ – вектор требований к компетенциям экспертов проекта, где req_n^z – необходимый уровень владения компетенцией S_n ; τ^z – время (в часах), необходимое для выполнения проекта; $F^z = \{I_o^z, E_o^z | o = \overline{1, O^z}\}$ – факторы успешности проекта, где O^z – число факторов в проекте; $I_o^z \in [0; 1]$ – степень влияния фактора o на проект, $\sum_{o=1}^{O^z} I_o^z = 1$; $E_o^z \in [-1; 1]$ – степень выполнения фактора o по результатам проекта, где -1 – отрицательное влияние на результат проекта, 1 – положительное; C_{max}^z – допустимый бюджет проекта.

В ЭС также добавлена система мотивации, включающая множество поощрений, которые могут назначаться экспертам за успешное выполнение проектов, и позволяющая стимулировать более эффективную их работу и оценивать её: $V = \{V_k | k = \overline{1, K}\}$, где K – число поощрений в компании; $Rew = |rew_{mk}|_{M \times K}$ – матрица поощрений экспертов, где rew_{mk} – значение величины поощрения V_k для эксперта P_m для любых $m = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$. Таким образом, менеджеры могут обеспечить учёт макроэкономических тенденций в стране и мире при работе метода ИППУР.

Формирование проектной команды состоит в поиске таких команд, в каждой из которых для любой компетенции присутствует эксперт, чей уровень владения ею не ниже требуемого. При этом суммарная стоимость работы экспертов, входящих в команду, не должна превышать допустимый бюджет проекта. Для формализации проектной команды обозначим её как вектор $T = (t_1, \dots, t_M)$, где $t_m = 1$, если эксперт P_m состоит в команде, иначе $t_m = 0$. При формировании

вариантов команд проекта z нужно учитывать ограничения $\forall n: \sum_{m=1}^M \theta(l_{mn} - req_n^z) * t_m \geq y_n^z$; $\sum_{m=1}^M (C_m * t_m) \leq \frac{C_{max}^z}{\tau^z}$, где $\theta(x) = [x \geq 0]$, $y_n^z = 0$, если $req_n^z = 0$, иначе $y_n^z = 1$.

Суммарная стоимость работы экспертов команды должна минимизироваться, а суммарный уровень владения требуемыми компетенциями среди экспертов команды – максимизироваться: $\sum_{m=1}^M (C_m * t_m) \rightarrow \min$; $\sum_{n=1}^N (y_n^z \sum_{m=1}^M (l_{mn} * t_m)) \rightarrow \max$.

В третьей главе описаны алгоритм идентификации потенциальных инноваций, алгоритм заполнения профиля проекта, алгоритм формирования вариантов команд экспертов для совместного выполнения проектов и алгоритм актуализации компетенций экспертов.



Рисунок 3 — Алгоритм идентификации потенциальных инноваций

Менеджер указывает информацию о ресурсах, на которых могут появляться статьи о новых технологиях и решениях в определённых областях. Сервис веб-краулинга в соответствии с алгоритмом извлечения инноваций, показанным на рисунке 3, регулярно проверяет указанные источники и находит новые статьи, которые ранее не были найдены. Из найденных статей извлекаются все термины и производится их статистический анализ с учётом времени публикации. В результате анализа менеджеру предоставляются самые актуальные термины, которые могут быть связаны с инновациями в определённых предметных областях.

На рисунке 4 показано извлечение терминов из статьи. Разделение текста заключается в очистке текста статьи от небуквенных и нецифровых символов, разделение текста на слова и удаление односимвольных слов. После выделения основы слов производится фильтрация, то есть убираются слова, содержащиеся в словаре незначительных слов (артикли, предлоги, местоимения и т.д.). Повторное разделение необходимо для удаления односимвольных слов, которые могут появиться в результате выделения основы. В ходе векторизации для увеличения семантической значимости слов и более точного анализа создаются дополнительные термины, состоящие из «двоек» и «троек» слов. Все извлечённые таким образом термины заносятся в базу данных и связываются с метаданными о статьях, из которых они были извлечены.

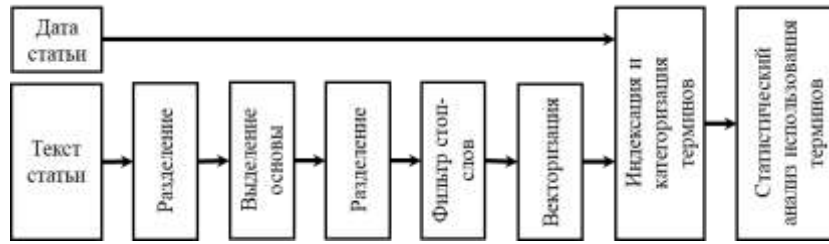


Рисунок 4 — Схема извлечения терминов из статьи для статистического анализа

Статистический анализ использования терминов заключается в ранжировании терминов по показателю TFPDF, выбранному в результате компаративного анализа статистических подходов. Для термина i показатель рассчитывается по формуле: $TFPDF_i^{ratio} = \frac{TFPDF_i(D_{new}) + \gamma}{TFPDF_i(D_{old}) + \gamma}$,

$$TFPDF_i(D) = |F_i| \cdot e^{\left(\frac{d_i}{D}\right)}, \quad |F_i| = \frac{F_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^I F_j^2}}, \quad \text{где } |F_i| \text{ – нормализованная частота использования}$$

термина i , F_i – частота использования термина i среди рассматриваемых статей; I – общее число терминов, d_i – число статей, в которых упоминается термин i , $D = D_{new} + D_{old}$ – общее число статей; γ – коэффициент чувствительности. Таким образом, использование данного показателя позволяет выявлять термины, которые мало упоминались ранее и стали часто употребляться в последнее время.

Для удобства выбора инноваций для внедрений производится категоризация терминов и статей. В базе данных компании содержатся категории с определённым набором ключевых слов. Для каждой статьи определяется такая из них, ключевые слова которой встречаются в статье чаще, чем ключевые слова других. Термину присваивается категория, к которой относится большая часть статей, в которых он встречается. Для каждой категории менеджеру выводятся несколько терминов, относящихся к ним, с наибольшим показателем TFPDF. Задачей менеджера является анализ их перспективности, актуальности и взаимосвязи с другими терминами.

Для инноваций, выбранных для внедрения, создаётся профиль проекта. По терминам, связанным с инновацией, производится поиск вакансий на внешнем специализированном сайте. Из вакансий извлекается текст, описывающий требования к экспертам, и для него применяются описанные ранее процедуры. Данный процесс показан на рисунке 5.



Рисунок 5 — Алгоритм заполнения профиля проекта

После этого термины, относящиеся к требованиям в вакансии, сопоставляются с компетенциями в онтологии. Для каждой пары термин-компетенция считается их схожесть по косинусному расстоянию: $Sum = \sum_{i=1}^{|T_{req}|} \frac{a_i b_i}{\sqrt{a_i^2} \sqrt{b_i^2}}$, где a_i – частота слова i в компетенции; b_i – частота слова i в термине. Компетенции, для которых косинусное расстояние максимально, предлагаются к добавлению в список требований проекта.

На основе заполненного менеджером профиля проекта и оценки уровней компетентности экспертов производится формирование команд для совместного выполнения проекта. Оценка уровня компетентности эксперта (GSL – General Skill Level) рассчитывается по формуле:

$$GSL_m = \frac{1}{5} \left(\frac{\sum_{z=1}^Z (h_m^z * x^z)}{\sum_{z=1}^Z h_m^z} + A_m + \left(1 - \frac{1}{\alpha * Exp_m + 1} \right) + \frac{\sum_{n=1}^N l_{mn}}{\sum_{n=1}^N \theta(l_{mn} - 1)} + \left(1 - \frac{1}{1 + \beta * \sum_{k=1}^K rew_{mk}} \right) \right), \quad (1)$$

где Z – число завершённых проектов, $h_m^z = 1$, если эксперт P_m участвовал в проекте z , иначе $h_m^z = 0$; $x^z = 1$, если проект выполнен вовремя, иначе $x^z = 0$; α и β – константы, выведенные эмпирически так, чтобы учитывать опыт работы эксперта и поощрения, $\alpha = 1/12$, $\beta = 0,3$. Таким образом, оценка уровня компетентности эксперта учитывает его стаж, награды, компетенции, доступность и вовремя выполненные им проекты.

На первом шаге алгоритма формирования вариантов проектной команды (см. рисунок 6) создаётся список решений (Dec), в котором будут храниться все сформированные варианты. В команду добавляются эксперты, владеющие на необходимом уровне хотя бы одной компетенцией компании, которой не владеет никто из текущей команды. Если после добавления эксперта суммарная стоимость работы команды превышает бюджет проекта, то производится локальная оптимизация. Если сформированная команда удовлетворяет всем требованиям проекта, такой вариант сохраняется в Dec, после производится оптимизация текущей команды.

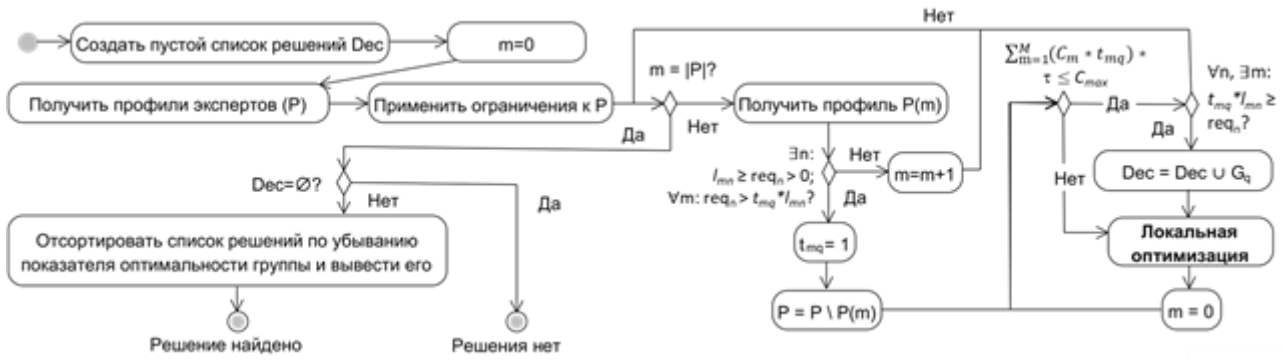


Рисунок 6 — Алгоритм формирования вариантов проектной команды для совместного выполнения проектов на основе требований к профессиональным компетенциям

Локальная оптимизация команды для проекта z предполагает максимизацию обобщённого показателя полезности команды. Он рассчитывается по формуле: $Opt^z = \frac{G^z * H}{Q * B}$, где G^z – уровень знаний команды, $G^z = \sum_{m=1}^M (t_m * GSL'_m * \sum_{n=1}^N (x_{mn} \frac{l_{mn}}{req_n^z}))$, GSL'_m – общий уровень компетентности эксперта P_m с учётом текущей стратегической цели, определённой менеджером; $x_{mn} = 1$, если эксперт P_m владеет компетенцией S_n лучше остальных в команде, иначе 0; H – показатель совместимости экспертов в команде, $H = \prod_i \prod_j r_{ij}$ для таких i и j , для которых $t_i = 1$ и $t_j = 1$; Q – относительная стоимость работы команды в час, $Q = \frac{\sum_{m=1}^M (t_m * c_m)}{\sum_{m=1}^M c_m}$; B – загруженность команды экспертов, $B = \sum_{m=1}^M (t_m * b_m)$. Для каждого эксперта, входящего в текущую команду, производится расчёт обобщённого показателя полезности команды, если бы этот эксперт не входил в неё. Тот, без которого данное значение будет максимальным, считается наименее эффективным и удаляется из команды, после чего снова производится добавление новых экспертов (при необходимости). Когда доступных для добавления в команду экспертов не остаётся, все сохранённые решения сортируются по убыванию показателя полезности.

В соответствии с алгоритмом актуализации компетенций экспертов, показанным на рисунке 7, изменение уровней владения каждой компетенцией каждого эксперта, участвовавшего в выполнении проекта z , вычисляется по формуле: $l_{mn}^{z+1} = \min\{l_{mn}^z + U_n * d_{mn}^z * W^z, U_n\}$, где l_{mn}^z – уровень владения экспертом P_m компетенцией S_n до начала проекта z ; U_n – максимальный допустимый уровень владения компетенцией S_n ; d_{mn}^z – степень влияния компетенции на результат проекта, $d_{mn}^z = \frac{1}{2} \left(\frac{l_{mn}}{\sum_{m'=1}^M (t_{m'}^z * l_{m'n}^z)} + \frac{req_n^z}{\sum_{n'=1}^N req_{n'}^z} \right)$, $t_m^z = 1$, если эксперт P_m выполнял проект z , иначе $t_m^z = 0$; W^z – коэффициент успешности проекта: $W^z = \sum_{o=1}^O (I_o^z * E_o^z)$. Таким образом, новые значения уровней владения компетенциями предлагаются менеджеру для каждого эксперта, участвовавшего в проекте.



Рисунок 7 — Алгоритм актуализации компетенций экспертов

В четвёртой главе описана реализация разработанных метода и алгоритмов в виде программного комплекса и экспериментальные исследования их работы, а также показано применение метода в ЭС.

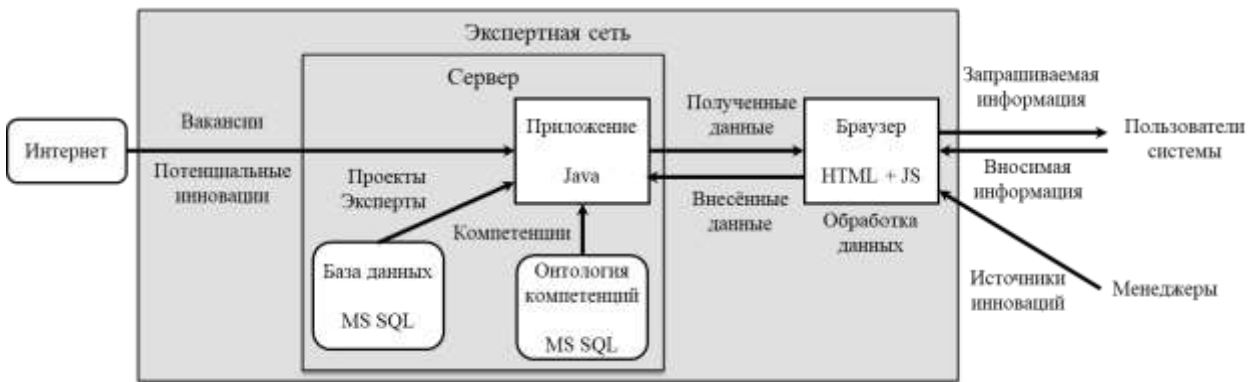


Рисунок 8 — Архитектура корпоративной ЭС

При реализации были использованы следующие языки программирования и фреймворки: Java Spring, HTML, Javascript, JQuery, MS SQL. Архитектура корпоративной ЭС представлена на рисунке 8. Архитектура основана на схеме «клиент-сервер». Пользователи (менеджеры, эксперты) взаимодействуют с ЭС при помощи браузера, где происходит обработка и передача вносимой информации и полученных от сервера данных. Java-приложение, расположенное на сервере, необходимо для взаимодействия с базой данных, в которой хранятся данные о проектах и экспертах. В дополнение к использованной схеме архитектуры была добавлена онтология компетенций, которая также располагается на сервере и содержит информацию о компетенциях компании и экспертов. Кроме того, при необходимости приложение обращается в сеть Интернет для получения данных о вакансиях и потенциальных инновациях.

Пример информации и знаний, представленных в онтологии компетенций, показан на рисунке 9. При её разработке была использована европейская классификация (<https://ec.europa.eu/esco/portal/skill>), содержащая 13485 компетенций, на основе которых были выбраны 558 необходимых компетенций компании, объединённых в 20 групп. Каждая из них содержит компетенции, относящиеся к одной и той же предметной области, и нужна для упрощения отображения и поиска. В онтологии используется один класс объектов и три вида

отношений между ними, а также атрибут «уровень», указывающий на то, в какой степени эксперт владеет компетенцией или в какой степени необходимо владение ею для проекта. Кроме того, между объектами онтологии могут быть другие виды отношений, например, «необходим для».



Рисунок 9 — Фрагмент онтологии компетенций

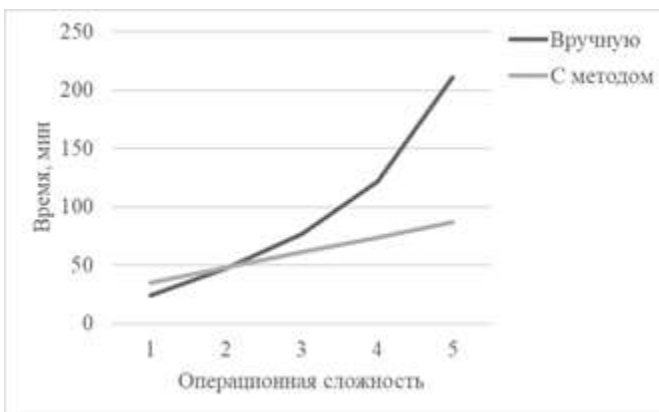
На рисунке 10 приведены интерфейсы программного приложения метода ИППУР, отображающие: выявленные потенциальные инновации, на основе которых создаются новые проекты; радар трендов, отображающий наиболее важные проекты; профиль эксперта с рассчитанным показателем GSL; варианты команд экспертов, сформированных для проекта; и окно актуализации, на котором можно выбрать, какие изменения компетенций применять.

Была проведена оценка времени, затрачиваемого на ПУР на различных этапах реализации жизненного цикла проекта (см. рисунок 11). Оценка проводилась для процессов, выполняемых вручную и с использованием разработанного метода. Результаты оценки показали, что при малой операционной сложности применение метода уменьшает оперативность ПУР, однако при большем количестве параметров метод заметно увеличивает её.

Анализ результатов внедрения разработанного метода и алгоритмов в корпоративную ЭС компании FESTO показал сокращение времени, затрачиваемого на подбор требуемых экспертов на проекты, на 90%. Временные затраты на поиск потенциальных инноваций уменьшились на 80%. Выводы о достоверности результатов работы алгоритма актуализации подтверждаются отзывами менеджеров компании, отмечающих прозрачность компетенций экспертов, которая подразумевает понятное изменение указываемых уровней владения. Расчёты показали сокращение времени на принятие управленческих решений в течение жизненного цикла типового проекта, а также окупаемость применения программного приложения метода ИППУР в течение трёх лет. Принимаемые решения стали более обоснованы за счёт увеличения количества рассматриваемых потенциальных инноваций и вариантов команд экспертов-исполнителей с учётом стратегических целей компании. Использование алгоритма актуализации обеспечивает поддержку точности указанных уровней владения компетенциями для всех экспертов-исполнителей.



Рисунок 10 — Интерфейсы метода ИППУР



Операционная сложность	1	2	3	4	5
Анализируемые статьи	4	8	12	16	20
Потенциальные инновации	3	6	9	12	15
Формируемые проекты	1	2	3	4	5
Требования к компетенциям	6	12	18	24	30
Эксперты (исполнители проектов)	3	6	9	12	15
Факторы успешности	2	4	6	8	10
Изменяемые компетенции	30	60	90	120	150

Рисунок 11 — Оценка затрачиваемого времени с использованием метода и вручную

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научная задача автоматизации процессов, связанных с извлечением, структурированием и использованием информации и знаний об инновациях,

проектах и экспертах для повышения эффективности управленческих решений в корпоративных экспертных сетях. Решённая задача имеет важное значение для совершенствования моделей, методов и средств поддержки ПУР в экспертных сетях.

Основные научные результаты, составляющие **итоги** исследования:

- Выявлены особенности и требования к методам формирования проектных команд, которые необходимо учитывать при разработке метода ИППУР;
- Разработаны концептуальная и математическая модели ИППУР;
- Разработан метод ИППУР, заключающийся в извлечении, обработке и предоставлении информации и знаний об инновациях, проектах и экспертах;
- Разработан алгоритм идентификации потенциальных инноваций, позволяющий выявить актуальные термины на основе статистического анализа документов и оценок экспертов;
- Разработан алгоритм заполнения профиля проекта, позволяющий идентифицировать требования к компетенциям экспертов;
- Разработан алгоритм формирования вариантов команд экспертов для совместного выполнения проектов, позволяющий находить эффективные варианты команд;
- Разработан алгоритм автоматизированной актуализации компетенций экспертов, позволяющий использовать формализованные факторы успешности проектов и степени вовлечения экспертов для изменения компетенций исполнителей проектов;
- Создан программный комплекс, реализующий метод ИППУР в корпоративной ЭС.

Даны **рекомендации** по использованию результатов исследования для повышения эффективности использования ЭС. Разработанные метод, модели и алгоритмы могут быть применены в коммерческих организациях и при выполнении научных исследований. В качестве **перспектив дальнейшей разработки тематики** можно указать использование нейронных сетей и машинного обучения для автоматизированного формирования онтологии компетенций. Представленные результаты соответствуют специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Петров, М. Формирование группы исполнителей для совместного решения задач: основанный на компетенциях метод и его реализация / М. Петров // Научный вестник НГТУ. – 2019. – Том 75, № 2. – С. 49–68.

2. Петров, М. Управление человеческими ресурсами для совместного решения задач на основе подходов к управлению компетенциями и геймификации / М. Петров, А. Кашевник // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2019. – Том 17, № 5. – С. 100–106.

3. Петров, М. Подход к уточнению уровня владения компетенциями человеческих ресурсов в профессиональных сетях / М. Петров, А. Кашевник // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2021. – № 2. – С. 11-21.

4. Смирнов, А. Сценарная модель интеллектуальной поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде / А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, М.В. Петров // Информационно-управляющие системы. – 2021. – №4. – С. 47-60.

Публикации в изданиях, проиндексированных в Web of Science/SCOPUS:

1. Petrov, M. An Approach to Changing Competence Assessment for Human Resources in Expert Networks / **M. Petrov** // Future Internet. – 2020. – vol. 12 (10). – p. 169.

2. Petrov, M. Competence-Based Method of Human Community Forming in Expert Network for Joint Task Solving / **M. Petrov**, A. Kashevnik, V. Stepanenko // Digital Transformation and Global Society. – 2018. – vol. 858. – pp. 24-38.

3. Petrov, M. Expert Group Formation for Task Performing: Competence-Based Method and Implementation / **M. Petrov**, A. Kashevnik // Proceedings of the 23rd Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2018. – pp. 315–320.

4. Petrov, M. Algorithm for Experts' Competence Actualization Based on Joint Task Performing Results / **M. Petrov** // Proceedings of the 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – 2020. – p. 698.

5. Smirnov, A. Competence-Based Language Expert Network for Translation Business Process Management / A. Smirnov, A. Kashevnik, **M. Petrov**, N. Shilov, T. Schäfer, T. Jung, D. Barsch-Harjau, G. Peter // Proceedings of the 25th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2019. – pp. 279–284.

6. Smirnov A., Shilov N., Kashevnik A., **Petrov M.**, Brugger S., Ismaili T. Early-identification of Human Resource Trends and Innovations through Web-scraping Technology. Proceedings of the 23rd International Conference on Enterprise Information Systems. 2021. Vol. 1. P. 642-651.

7. Petrov, M. Expert competence level adjustment based on the project participation: method and evaluation / **M. Petrov**, A. Kashevnik // Journal of Management Information and Decision Sciences. – 2021. – vol. 24(8). – pp. 1-16.

Интеллектуальная собственность:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019613215. Кашевник А.М., Петров М.В. Система управления компетенциями участников экспертной сети. 2019.

Автореферат диссертации

ПЕТРОВ

Михаил Владимирович

МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СЕТЯХ

Текст автореферата размещен на сайтах:

Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего
образования Российской Федерации

<https://vak.minobrnauki.gov.ru/>

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской
академии наук»

<http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/>

Подписано в печать "28" апреля 2022 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз.

Заказ № ____