УДК 004.83:005

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

[1]Черняховская Л.Р., [1]Никулина Н.О., [2]Низамутдинов М.М., [1]Малахова А.И., [1]Мухаметьянова Р.И.

[1]Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, e-mail: nikulina.nataly4@yandex.ru;

[2]Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Уфа

Успешность инновационной деятельности зависит от множества факторов, в том числе от качества принимаемых управленческих решений – как оперативных, влияющих на текущую ситуацию, так и стратегических, направленных на достижение глобальных целей. Качество решений существенно зависит от результатов анализа информации о состоянии реализуемого проекта, а также исторических данных об инновационной деятельности предприятия, отрасли, региона. Необходимо учитывать динамический характер инновационной деятельности, нестабильность внутренней и внешней среды реализации проектов, нехватку актуальных и достоверных данных, недостаточность ресурсов различного рода, в том числе финансовых и временных. Авторы считают, что уменьшить влияние негативных факторов позволит использование методов и средств инженерии знаний, в первую очередь формализованного подхода к управлению проектом с оказанием интеллектуальной поддержки принятия решений для его участников. Авторы предлагают методику поддержки принятия решений на основе предварительного онтологического анализа предметной области, последующего интеллектуального анализа формализованных данных об инновационных проектах с помощью алгоритма *ID*3, реализующего метод символьного индуктивного обучения «с учителем». Результатом применения методики является классификация инновационных проектов региона, а также формирование правил принятия решений по управлению инновационной деятельностью.

Ключевые слова: инновационный проект, интеллектуальный анализ данных, поддержка принятия решений, база знаний, онтологический анализ, классификация, дерево решений, правило принятия решений

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR INTELLECTUAL ANALYSIS OF INNOVATIVE ACTIVITY CHARACTERISTICS

[1]Chernyakhovskaya L.R., [1]Nikulina N.O., [2]Nizamutdinov M.M., [1]Malakhova A.I., [1]Mukhametyanova R.I.

[1]Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: nikulina.nataly4@yandex.ru;

[2]Ufa Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, Ufa

Innovative activity success depends on many factors, including quality of management decisions – both operational, affecting the current situation, and strategic, aimed at the achieving global goals. Quality of made decisions significantly depends on the results of information analysis about the current state of the project, being realized, and the historical data about the innovative activity of enterprise, industry, region. At the same time, it is necessary to take into account the dynamic nature of innovative activity, the instability of the internal and external environment of the projects, the lack of relevant and reliable data, the lack of the resources of various kinds, including finance and time. The authors suppose that the use of knowledge engineering methods and tools, primarily a formalized approach to project management with the intellectual decision-making support for its participants, will allow to reduce the influence of the mentioned negative factors. The authors propose a decision-making support methodology based on a preliminary ontological analysis of the subject area, followed by the intellectual analysis of innovative projects formalized data using the *ID3* algorithm, which implements a method of symbolic inductive learning «with a teacher». A result of the methodology application is the innovative projects classification in the region, as well as the decision-making rules for innovative activity management.

Keywords: innovative project, data mining, decision-making support, knowledge base, ontological analysis, classification, decision tree, decision-making rule

Одной из важнейших задач государственной политики Российской Федерации является обеспечение конкурентоспособности отечественной продукции и технологий, в том числе на международных рынках. Этого можно добиться за счет активного роста инновационной деятельности производственных предприятий, которая осуществляется для достижения комплекса социальных, экономических, научно-исследовательских, организационных целей с высокой динамикой изменений как внешней, так и внутренней среды. По данным [1] в 2017 г. Республика Башкортостан вошла в первую группу рейтинга инновационного развития субъектов Российской Федерации по индексу научно-технического потенциала (ИНТП). Вместе с тем ретроспективный анализ инновационной деятельности в Республике Башкортостан показывает, что организации сокращают инновационную активность – удельный вес организаций,

осуществляющих технологические инновации, снизился с 12,6% в 2012 г. до 5,9% в 2017 г. [2]. Такие неблагоприятные внешние факторы, как изменившиеся экономические условия осуществления производственной деятельности вследствие экономического кризиса, безработица, снижение объемов инвестиций в научно-исследовательские разработки, а также внутренние факторы, в том числе изношенность основных средств, недостаточные компетенции персонала, усложнение коммуникаций работников в удаленном режиме в условиях пандемии, являются причинами снижения уровня инновационной активности. Следовательно, обеспечение динамического подъема инноваций является актуальной задачей государственного значения. В связи с этим особое внимание уделяется вопросам реорганизации производственно-хозяйственной деятельности промышленных предприятий, совершенствования функций проектного менеджмента, повышения качественных характеристик управленческой информации, необходимой для принятия решений при управлении инновационными проектами.

Сложность управления инновационными проектами за последнее десятилетие многократно увеличилась в связи с высокой степенью неопределенности параметров проекта, высокой динамикой изменений внутренней и внешней среды проекта, большим объемом данных для управленческой деятельности, необходимостью привлечения специалистов высокой квалификации для создания и применения интеллектуальной собственности, применением современных технологий и материальных ресурсов. Поэтому эффективное управление инновационными проектами в современных условиях нуждается во внедрении и использовании новых подходов, методов и технологий обработки управленческой информации, ориентированных на качество и своевременность принимаемых решений на основе инженерии знаний.

Вопросам повышения эффективности проектного менеджмента посвящены многочисленные научные исследования, в результате которых разработаны и активно применяются различные методологии управления инновационными проектами с использованием информационных технологий. Большое внимание в настоящее время уделяется управлению знаниями в ходе планирования и реализации проектов, разработаны соответствующие стандарты [3, 4]. Рассмотрению проблем в области управления знаниями посвящены труды многих ученых, работающих над созданием моделей и методов искусственного интеллекта в различных областях инженерных наук, в том числе моделей представления знаний и методов поиска решений на их основе [5–7].

Однако, на наш взгляд, дальнейшее развитие инструментов системного представления процессов управления инновационными проектами возможно только в том случае, если удастся найти методы и подходы, позволяющие в формализованном виде накапливать и обрабатывать знания и опыт управления в проблемных ситуациях, возникающих в процессе проектирования, а также информацию о параметрах внешней среды, в которой реализуются инновационные проекты. Поэтому целью исследований является разработка методического и алгоритмического обеспечения для поддержки принятия решений при управлении инновационными проектами на основе онтологического и интеллектуального анализа данных. Для обработки данных и знаний предложена интеллектуальная система поддержки принятия решений, позволяющая осуществлять проектирование базы знаний и алгоритмов формирования рекомендаций по управлению инновационной деятельностью [8–10].

Инновационные проекты обладают индивидуальными характеристиками, которые необходимо учитывать в проектном менеджменте. Вместе с тем существуют общие принципы, подходы и методы обеспечения эффективности управления, присущие множеству проектов. Для выявления сходства инновационных проектов и объединения их в классы традиционно используется такой метод интеллектуального анализа данных, как классификация. В настоящем исследовании выборка данных создана на основе Перечня приоритетных инвестиционных проектов Республики Башкортостан на 01.10.20 г., включающего проекты со сроком реализации в период с 2004 до 2035 г., Единого реестра инновационных проектов Республики Башкортостан, представленного Министерством экономического развития и инновационной политики Республики Башкортостан, отчетов Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан (раздел «Наука, инновации и информационное общество») и других источников информации, где представлены основные показатели инновационной активности организаций [2, 11]. Эти данные содержат информацию, необходимую для классификации проектов и последующего распозна-

вания и прогнозирования инновационного потенциала новых проектов. Для анализа были использованы сведения о характеристиках 200 проектов, выполняющихся на базе производственных предприятий, в том числе правила принятия решений для управления проектом в проблемных ситуациях (ПС) были сформированы для инновационного проекта «Реконструкция и техническое перевооружение производственной базы ПАО «ОДК-УМПО» для производства компонентов и агрегатов вертолетных двигателей типа ТВ3-117 и ВК-2500» [12]. В качестве методов исследования были применены онтологический анализ предметной области для формализации данных об инновационных проектах и управлении ими, метод символьного индуктивного обучения «с учителем» для построения деревьев решений, методы и средства инженерии знаний.

Применение интеллектуального анализа данных для классификации инновационных проектов

В интеллектуальном анализе данных обычно используются модели деревьев решений (ДР) для изучения данных, которые будут использоваться для классификации или прогнозирования. Для построения ДР могут быть использованы различные алгоритмы, включая *ID*3 (*Interactive Dichotomizer*), *CHAID* (*Chi-squared Automatic Interaction Detection*), *CART* (*Classification and Regression Tree*) и другие инструменты анализа [13]. Для проведения интеллектуального анализа данных об инновационных проектах выбран алгоритм *ID*3, реализующий метод символьного индуктивного обучения «с учителем». Признаками классификации определены: срок реализации, объем инвестиций в проект, количество новых рабочих мест. Уровни инновационного потенциала проектов определены экспертами как низкий (1 класс), средний (2 класс), выше среднего (3 класс), высокий (4 класс). Экспертные оценки определены с учетом области применения предлагаемого в проекте продукта, типа инновации, масштабности проектов, реализация которых влияет на экономическую, социальную и экологическую ситуацию в регионе.

В результате применения алгоритма *ID3* построена ДР-иерархическая модель контролируемого обучения (обучения «с учителем»), в которой локальная область идентифицируется в последовательности рекурсивных разбиений [14, 15]. ДР состоит из внутренних узлов принятия решений и конечных листьев. Каждый внутренний узел принятия решений *m* реализует тестовую функцию $f_m(x)$ с исходами, обозначающими ветви. Учитывая входные данные, в каждом узле применяется $f_m(x)$, и одна из ветвей выбирается в зависимости от результата. Этот процесс начинается в корне и повторяется рекурсивно до тех пор, пока не будет достигнут листовой узел, в котором записанное в лист значение составляет выходную переменную. Таким образом, каждый листовой узел имеет выходную метку, которая в случае классификации является кодом класса. Каждый $f_m(x)$ определяет дискриминант в *d*-мерном входном пространстве, разделяя его на более мелкие области, которые далее подразделяются по мере прохождения пути от корня вниз; $f_m(x)$ – это простая функция, и при записи в виде ДР сложная функция разбивается на ряд простых решений. Границы областей определяются дискриминантами, которые кодируются во внутренних узлах на пути от корневого к листовому узлу. Преимуществом применения ДР является возможность интерпретации, поскольку ДР можно преобразовать в набор правил ЕСЛИ – ТО. Для реализации алгоритма *ID3* выбрано программное средство *See*5. В результате интеллектуального анализа данных были получены ДР, определяющие класс инновационного проекта в зависимости от значений признаков. Ошибка классификации находится в диапазоне 11,5–24 %.

Методика поддержки принятия решений при управлении инновационными проектами на основе применения интеллектуального анализа данных

Поддержка принятия решений необходима не только для анализа инновационной активности организаций на региональном уровне, но и для управления реализацией конкретных инновационных проектов. Процесс принятия решений при реализации проекта поддерживается некоторым набором знаний и алгоритмами их обработки, позволяющими лицу, принимающему решение (ЛПР), обосновать выбор той или иной альтернативы действий. Это могут быть как оперативные данные о состоянии проекта в текущий момент, так и некоторые устоявшиеся правила поведения ЛПР в контексте полученных характеристик проблемной ситуации. Реализация и применение базы знаний направлены на повышение полноты и улучшение качества удовлетворения информационных потребностей пользователей, ориентированных в конечном итоге на точность, своевременность и обоснованность принимаемых управленческих решений. Процесс поддерживается наличием

знаний организации и применением механизма логического вывода, позволяющего ЛПР обосновать выбор той или иной альтернативы действий.

Последствия решений, связанных с крупными капиталовложениями, влияют на финансовую устойчивость предприятия и могут привести к риску невыполнения проекта. Принятие оперативных, качественных, обоснованных решений в этой области остро нуждается в строгой регламентации и грамотной информационно-методической поддержке. Следовательно, необходимо осуществлять сбор накапливаемых в проектном менеджменте знаний в форме прецедентов и проверенных на практике правил принятия решений, источниками которых являются эксперты, стандарты и организационные документы, регламентирующие реализацию проектов.

Определим задачу информационной и интеллектуальной поддержки формально. Пусть R – множество знаний пользователя о возникающих и требующих принятия решений ПС, Q – множество сформулированных пользователем требований на удовлетворение его информационных потребностей в связи с необходимостью решения возникающих ПС. Тогда D – множество решений, предпринимаемых для устранения возникающих ПС.

В этих условиях информационная поддержка может быть определена с помощью двух формальных функций: Ψ: $R \Rightarrow Q$; ξ: $Q \Rightarrow D$.

На первом этапе реализации информационной поддержки функция $\Psi(r)$ отображает знания пользователя о конкретной ПС $r \in R$ в некоторый формальный запрос $q \in Q$ на предоставление нужной ему информации для разрешения ПС.

На втором этапе реализации информационной поддержки функция $\xi(q)$ преобразует этот запрос $q \in Q$ в некоторое подмножество $d \in D$ альтернатив решений, принимаемых ЛПР для разрешения данной ПС $r \in R$.

Методика поддержки принятия решений включает следующие этапы:

1) сбор данных об инновационном проекте, методах и средствах принятия решений по управлению проектом из структурированных и неструктурированных источников;

2) формализация данных путем построения системной модели предметной области в виде интегрированной онтологии управления инновационным проектом;

3) разработка базы знаний, включающей механизм логического вывода, основанного на применении прецедентов и полученных из них правил принятия решений;

4) классификация правил и прецедентов принятия решений в соответствии с разработанным набором иерархий знаний с учётом различных аспектов принятия решений – с позиции соотнесения их с различными этапами, областями знаний, участниками инновационного проекта, применения математических и аналитических моделей принятия решений в проблемной ситуации;

5) формирование запросов к базе знаний при возникновении проблемных ситуаций в ходе выполнения проектов, а также при необходимости классификации проектов для принятия решений о возможности выделения ресурсов для их реализации на различных этапах;

6) сохранение решений, предложенных базой знаний, с целью их дальнейшей оценки ЛПР с помощью имитационного моделирования;

7) адаптация базы знаний по результатам обобщения устойчивых структур прецедентов и построение на их основе новых правил для обучения системы поддержки принятия решений.

Методика создания базы знаний, встроенной в онтологию на основе формальной семантики онтологий, описана в [16]. Подход к формированию онтологии для описания различных областей знаний специалистов управления инновационными проектами приведен в [10, 12]. Разработанная структура базы знаний, включающая модель правил и модуль прецедентов, основана на использовании результатов системного анализа и моделирования предметной области, что обеспечивает формирование базы знаний, ориентированной на предметную область [8, 9, 12]. База знаний обеспечивает решение основных задач информационной поддержки пользователей в процессе управления проектами. Ее применение основано на созданных в онтологии объектных отношениях между классами и реализации механизма логического вывода.

Одним из направлений применения онтологии является поиск информации с использованием запросов для поиска информации на языке *OWL* на основе логической модели онтологии и реализация запросов на языке запросов *SPARQL* [17, 18]. Онтология может быть использована при формировании рекомендаций для принятия решений в проблемных ситуациях, например при оценке качества результатов проекта.

В приведенной на рис. 1 онтологии поддержки принятия решений при управлении инновационным проектом созданы базовые объектные отношения между классами: {Прецедент, Интеллектуальный анализ данных (ИАД), Правило, Рекомендация,

ЛПР, Решение, Действие}. Цепочка отношений включает следующие объектные отношения:

hasFollow (Прецедент, ИАД) ***o*** *hasFollow* (ИАД, Правило) ***o***

hasFollow (Правило, Рекомендация) ***o*** *hasFollow* (Рекомендация, ЛПР) ***o***

hasFollow (ЛПР, Решение) ***o*** *hasFollow* (Решение, Действие).

На основе композиции базовых отношений получено новое отношение (Прецедент, Решение), отображающее методику поддержки принятия решений для ЛПР на основе применения интеллектуального анализа данных.

Результатом интеллектуального анализа данных являются правила классификации проектов, сгенерированные методом индукции на основе описаний 200 проектов [11] с применением *See*5. На рис. 2 представлен фрагмент множества правил классификации проектов, трансформированных во встроенные в онтологию правила на языке *Semantic Web Rule Language* (*SWRL*).

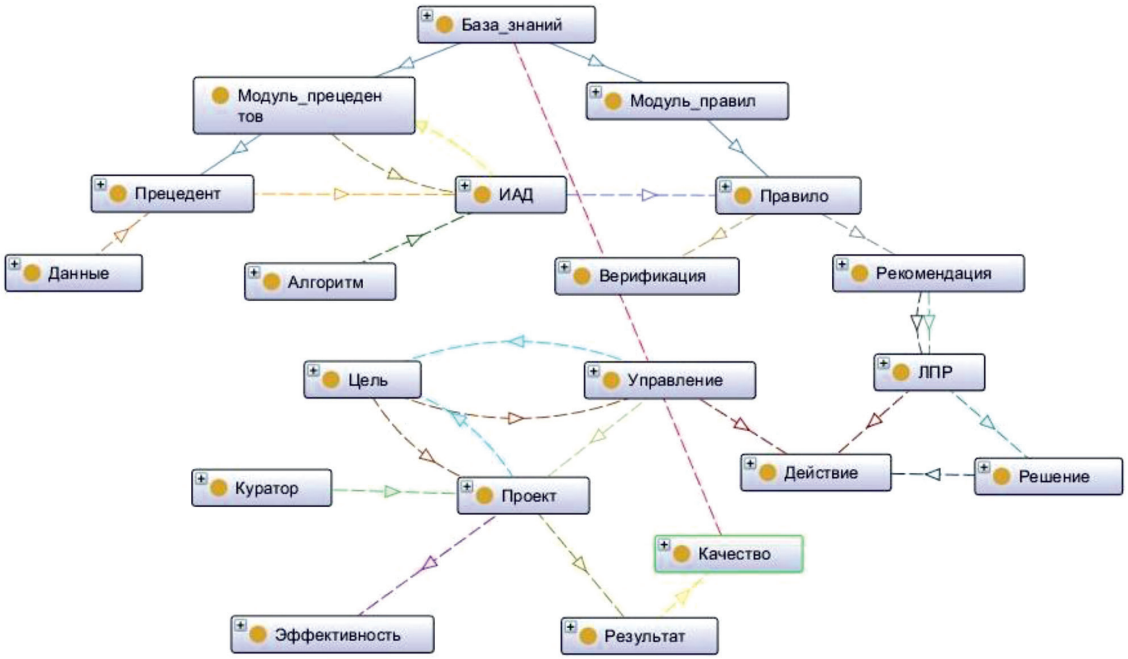

Рис. 1. Фрагмент семантической сети структуры знаний в онтологии

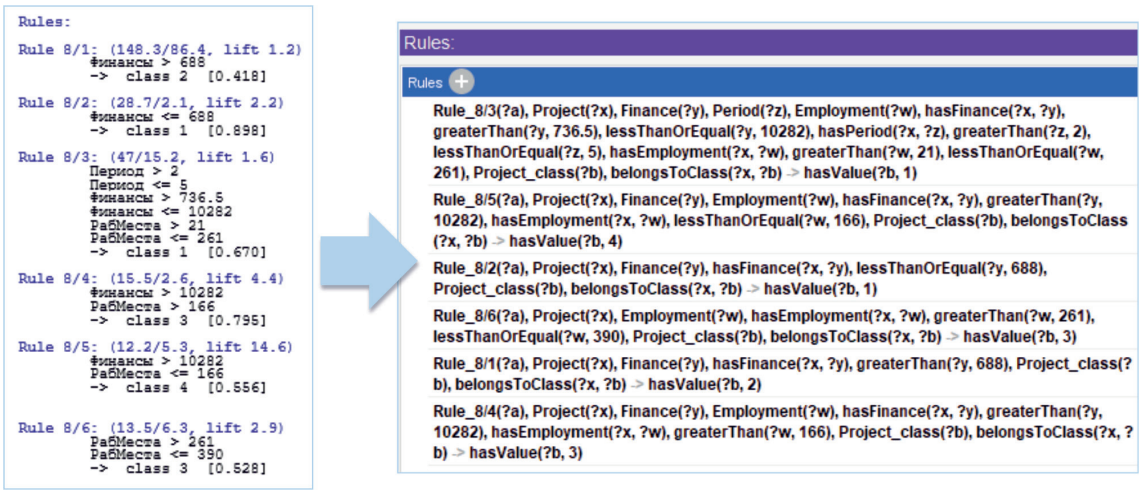

Рис. 2. Правила классификации проектов, представленные на языках See5 (слева) и SWRL (справа)

Правила, встроенные в онтологию, способствуют обмену знаниями между участниками процесса инновационной деятельности. Полученные правила применены для классификации и оценки инновационного потенциала проектов, реализация которых началась в 2020 г. Классификация проектов на основе правил дает возможность обосновывать управленческие решения относительно приоритетов финансирования инновационных проектов в те или иные периоды времени с учетом их характеристик и значимости для экономики региона. В перспективе, с накоплением прецедентов принятия решений, возможно формирование базы типовых решений, использование которой позволит сократить сроки принятия решений о выделении финансовых средств для реализации инновационных проектов и распределении других видов ресурсов.

Заключение

Преимуществом подхода к управлению инновационными проектами, основанного на онтологии, является обеспечение семантической интеграции данных и знаний для системы поддержки принятия решений. Поскольку одним из основных свойств систем управления знаниями является эмерджентность, то взаимодействие специалистов в процессах формализации представления и обработки знаний с применением онтологии и технологии S*emantic Web* способствует созданию новых знаний. Кроме того, интеллектуальная система поддержки принятия решений, разработанная с применением технологий *World Wide Web* и S*emantic Web,* позволит сократить расходы на передачу, преобразование и хранение информации за счет использования современных и более эффективных аппаратных и программных средств, что в конечном итоге приведет к повышению экономического эффекта от инновационной деятельности предприятий.

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что эффективное использование организационных знаний в целях обеспечения информационной поддержки функций принятия управленческих решений остается весьма актуальной задачей. Решение ее требует сегодня разработки эффективных методов автоматизированного накопления, обработки и использования онтологического анализа неструктурированной естественно-языковой информации и способов анализа и обобщения данных, основанных на современных подходах к управлению знаниями.

Исследование проводилось при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-00-00345(К) «Инструментарий поддержки принятия решений при разработке стратегий инновационного развития регионов России на основе адаптивных моделей управления, технологий интеллектуальной обработки знаний и имитационного моделирования».

Список литературы

1. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2019. Вып. 6. [Электронный ресурс]. URL: https://issek.hse.ru/rirr2019 (дата обращения: 13.10.2020).

2. Уровень инновационной активности организаций. Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан. [Электронный ресурс]. URL: https://bashstat.gks.ru/folder/26074 (дата обращения: 16.10.2020).

3. ГОСТ Р 54875-2011. Менеджмент знаний. Руководство по устоявшейся практике внедрения системы менеджмента знаний. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с.

4. Руководство к своду знаний по управлению проектами (PMBOK + AGILE): практическое руководство, 6-е изд. М.: Олимп-Бизнес, 2019. 974 с.

5. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И. Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. № 1(23). С. 66–76. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.

6. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / ФГБОУ ВПО РГУИТП; ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика». М.: Финансы и статистика, 2012. 664 с.

7. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: учебник. СПб.: Лань, 2016. 324 с.

8. Черняховская Л.Р., Низамутдинов М.М. Разработка базы знаний для интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе управления инновационным проектом // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XXI Международной конференции (Самара, 3–6 сентября 2019 г.). Самара: ООО «Офорт», 2019. Т. 1. С. 528–531.

9. Chernyakhovskaya L.R., Nikulina N.O., Malakhova A.I. Principles of the knowledge base formation as a part of intellectual decision support system in innovative projects management. 21st International Scientific Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2019) (Austria, Vienna, 2–4 October 2019). Atlantis Highlights in Computer Sciences. Vol. 3. P. 125–130. DOI: 10.2991/csit-19.2019.21.

10. Черняховская Л.Р., Малахова А.И., Никулина Н.О. Исследование содержания проблемы управления инновационными проектами в процессах стратегического планирования и развития производственно-экономических систем // Информационные технологии. 2020. Т. 26. № 4. С. 239–251. DOI: 10.17587/it.26.239-251.

11. Реестр приоритетных инвестиционных проектов Республики Башкортостан. Официальный сайт Министерства экономического развития и инвестиционной политики Республики Башкортостан. [Электронный ресурс]. URL: https://data.gov.ru/opendata/0274116127-reestrinvestpr (дата обращения: 12.09.2020).

12. Nikulina N.O., Malakhova A.I., Ivanova I.F. Application of Intelligent Technologies in Solving the Innovative Projects Problems. 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). IEEE Xplore Digital Library. Date Added to IEEE Xplore: 03 February 2020. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976870.

13. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод С.С. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.

14. Дюк В., Самойленко А. Data mining: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 388 с.

15. Introduction to Machine Learning. Ethem Alpaydin. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2004. 400 p.

16. Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Бармина О.В. Применение онтологического анализа и обработки знаний для принятия решений в проблемных ситуациях // Управление экономикой: методы, модели, технологии: Труды XV Международной научной конференции (Уфа, 22–24 октября 2015 г.). Уфа: Изд-во Уфимского государственного авиационного технического университета, 2015. Т. 2. С. 181–186.

17. OWL 2. Web Ontology Language. Document Overview (Second Edition). [Электронный ресурс]. URL: http://www.w3.org/TR/owl2-overview (дата обращения: 20.10.2020).

18. Официальная документация по Protégé. [Электронный ресурс]. URL: http:// https://protege.stanford.edu/products.php/ProtegeUserDocs (дата обращения: 15.10.2020).