

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
Санкт-Петербургского горного
университета
императрицы Екатерины II
д.т.н., проф.

М.Л. Рудаков

2026



ОТЗЫВ

ведущей организации «Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» на диссертационную работу

Дерябина Сергея Андреевича

«Модели и методы оценки и анализа архитектур для построения автономно функционирующих горнопромышленных систем»

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Диссертационная работа Дерябина Сергея Андреевича «Модели и методы оценки и анализа архитектур для построения автономно функционирующих горнопромышленных систем» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» Министерства науки и образования Российской Федерации.

Актуальность темы выполненной работы и её связь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Современные предприятия по добыче полезных ископаемых представляют собой сложные технологические системы, эффективность функционирования которых обусловлена качеством управляющих решений и координации взаимодействия множества разнотипных объектов: оборудования, административного и эксплуатационного персонала, автоматизированных и информационных программных систем. Цифровая трансформация предприятий горнодобывающего сектора, включающая в себя переход к полностью безлюдным технологиям добычи полезных ископаемых, является важной стратегической целью развития отрасли и экономики Российской Федерации, что требует первостепенного решения ряда научных и инженерно-практических задач.

Отсутствие строгой и унифицированной методологии организации процессов цифровой трансформации в данной отрасли во многом является барьером на пути успешной реализации проектов модернизации IT-архитектур и созданию автономно функционирующих кибер-физических горных предприятий. Отсутствие формальных методов оценки уровня автоматизации, рассогласованность целеполаганий и требований к результатам цифровой трансформации в ещё большей степени подчеркивает данную проблематику. Таким образом можно заключить, что тема представленной диссертационной работы является актуальной, согласуется с приоритетами Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, а также с направлениями цифровизации горной отрасли, определёнными в рамках национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации». Результаты работы имеют непосредственное отношение к задачам автоматизации и роботизации открытых горных работ, решаемым в том числе в Санкт-Петербургском горном университете.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование, в котором получены следующие важные научные результаты:

1. Разработана двухкомпонентная онтологическая модель архитектуры горнопромышленного предприятия на языке дескрипционной логики OWL, объединяющая универсальную онтологию общего назначения (таксономию концептов пространственно-распределённой индустриальной системы) и специализированную онтологию, конкретизирующую набор индивидов для типового предприятия по открытой добыче полезных ископаемых. Такой подход позволяет формализовать априорные знания о предметной области и обеспечить системное описание структурно-функциональной организации предприятия, что является необходимой предпосылкой для проведения формального анализа архитектуры.
2. Предложен оригинальный механизм логико-семантического вывода каталогов атомарных функциональных задач управления и физических узлов размещения из онтологической модели. Механизм реализует строгий комбинаторный перебор допустимых аксиоматических высказываний, что обеспечивает полноту и точность получаемых результатов и существенно снижает риски ошибок, характерные для традиционного экспертно-аналитического подхода к формированию функциональных моделей архитектуры предприятия.
3. Разработана модель представления архитектуры в виде графа логической конфигурации, согласующая понятия архитектуры предприятия с понятиями архитектуры

программных систем через единообразное описание на основе восьми типов логических классов программных компонентов. Предложены унифицированные информационно-энтропийные критерии количественной оценки структурной сложности на базе графовых индексов, обеспечивающие инвариантность оценки относительно состояния архитектуры и способов её организации.

4. Разработан набор формальных операций модификации логической конфигурации (добавление, удаление, слияние, разделение и обновление логических классов) с эвристической метрикой стоимости структурных изменений в виде петель модификации, а также правилами допустимости операций. Это позволяет количественно сопоставлять варианты модификации архитектуры и формулировать критерий оптимизации как задачу минимизации энтропийной сложности жизненного цикла цифровой трансформации.

5. Разработаны алгоритмы процедур конфигурирования и анализа архитектур в состояниях «as is» и «to be», формирующие инструментальную основу для решения задач управления жизненным циклом цифровой трансформации горнопромышленных предприятий.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

Достоверность результатов диссертации подтверждается корректным применением методов системного анализа, дескрипционной логики, теории графов и теоретико-информационного подхода к оценке сложности систем. Аксиоматическое обоснование выбора энтропийного критерия сложности базируется на классических результатах теории информации (теорема Шеннона) и обеспечивает универсальность предложенной оценочной функции при заданном наборе аксиом.

Когерентность и консистентность разработанной онтологической модели верифицированы с использованием рассуждателя дескрипционной логики HermiT, что обеспечивает логическую непротиворечивость формализованных знаний о предметной области.

Работоспособность предложенных моделей, критериев и алгоритмов подтверждена экспериментальным моделированием на примере архитектуры горнопромышленного предприятия по открытой добыче полезных ископаемых с каталогом из 121 атомарной функциональной задачи управления, 14 агентов управления и 8 физических узлов размещения. Результаты моделирования воспроизводимы и реализованы программно на языке Python.

Практическая ценность подтверждена тремя актами внедрения результатов (ООО «ПРАЙМ ГРУП», ООО «Брайт Софт», ООО «Экспасофт»). Результаты диссертации

опубликованы в 10 научных работах, в том числе 8 в периодических научных изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, 1 в списке журналов рекомендованных ВАК, получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Значимость для науки и производства, полученных автором диссертации результатов, сопоставление полученных результатов с уровнем современной науки

Работа вносит весомый вклад в развитие научного направления «Системный анализ, управление и обработка информации» применительно к теоретическим и практическим вопросам архитектурирования сложных крупномасштабных пространственно-распределённых геотехнических промышленных систем, к которым, несомненно, относятся и предприятия горной отрасли.

Системный подход автора к декомпозиции архитектуры предприятия на четыре группы классификации компонент (технологические процессы, физические объекты, агенты управления и информация) обеспечивает концептуальную полноту описания горнопромышленного предприятия и согласуется с принятыми в отрасли представлениями о структурно-функциональной организации процессов.

Предложенный онтологический подход к формализации предметной области горнодобывающего производства заслуживает внимания с позиции развития методов системного анализа в горной промышленности. Введение формальной процедуры логико-семантического вывода функциональных задач управления из онтологии представляет собой существенное продвижение по сравнению с традиционными экспертными методами функционального моделирования, опирающимися на субъективные оценки аналитиков.

Использование энтропийных критериев для оценки структурной сложности архитектуры корреспондирует с фундаментальными работами N. Rashevsky, A. Mowshowitz и M. Dehmer в области теоретико-информационного анализа сложных систем и расширяет их применимость на область архитектур промышленных предприятий.

Результаты экспериментального моделирования, продемонстрировавшие количественное сопоставление трёх вариантов модификации архитектуры (консолидация в существующие программные агенты, выделение нового агента, микросервисная декомпозиция), имеют непосредственное практическое значение для горнодобывающих предприятий, стоящих перед выбором стратегии цифровой трансформации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в следующих направлениях:

1. При проектировании и модернизации информационных и автоматизированных систем управления на предприятиях по открытой добыче полезных ископаемых для обоснованного выбора архитектурных решений при переходе от существующих систем с участием оператора к полностью безлюдным технологиям.
2. Разработанные онтологическая модель и механизм логико-семантического вывода могут служить ядром стандарта при системном проектировании цифровой трансформации горнодобывающих предприятий для формирования полного и непротиворечивого каталога функциональных задач управления, исключающего пробелы и дублирование, характерные для ручного экспертного анализа.
3. Предложенные критерии и методы количественной оценки сложности архитектуры могут использоваться инжиниринговыми IT-компаниями, консалтинговыми организациями и проектными институтами горной отрасли в качестве инструмента сравнительного анализа альтернативных вариантов цифровой трансформации предприятий.
4. Разработанная модель представления архитектуры и формальные операции модификации могут быть положены в основу системы поддержки принятия решений для управления жизненным циклом цифровой трансформации горнопромышленных предприятий.
5. Теоретические результаты работы могут использоваться в учебном процессе при подготовке специалистов по таким направлениям как, например, «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Информационные системы и технологии».

Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний можно отметить, что в диссертации нет полного ответа на следующие вопросы:

1. Онтологическая модель разработана для типового предприятия по открытой добыче полезных ископаемых и включает ограниченный набор классов технологических процессов и физических объектов (7 типов мобильного и стационарного оборудования). В какой мере данная онтология может быть признана полной для реального горнодобывающего предприятия, учитывая, что на практике номенклатура оборудования, технологических операций и вспомогательных процессов (ремонт, техническое обслуживание, энергоснабжение, обеспечение безопасности, экологический мониторинг) существенно шире? Каким образом расширение онтологии повлияет на масштаб каталога функций и вычислительную сложность предложенных алгоритмов?
2. Формула порождения атомарных функциональных задач управления основана на комбинаторном переборе четырёх аксиоматических высказываний, дающих

120 + 1 функцию. Однако не вполне ясно, каким образом учитываются зависимости между технологическими процессами горного производства, в частности: взаимосвязь процессов бурения и взрывания, технологическая последовательность экскавации, транспортировки и отвалообразования. Не приводит ли принцип «атомарности» функций к избыточности каталога за счёт генерации функций, не имеющих практического содержания?

3. Экспериментальное моделирование выполнено для одного модельного предприятия с фиксированной структурой. Каким образом может быть обеспечена валидация предложенных критериев и алгоритмов на реальных горнодобывающих предприятиях с учётом их индивидуальных особенностей (различия в горно-геологических условиях, применяемом оборудовании, организационной структуре)?

4. Правила модификации архитектуры (в частности, операция слияния классов) ограничены условием принадлежности к одному агенту и одному физическому узлу. Данное ограничение, обоснованное с позиции программной инженерии, может не в полной мере учитывать специфику горнодобывающего производства, где функции мониторинга и управления одного технологического процесса могут быть распределены между несколькими узлами в силу пространственной протяжённости объекта (например, конвейерный транспорт). Как автор предполагает учесть подобные особенности?

5. Модель оценки стоимости модификации на основе петель является эвристической метрикой, что признаётся автором в заключении. Вместе с тем, в работе отсутствует сопоставление данной эвристики с реальными технико-экономическими показателями внедрения программных систем на горнодобывающих предприятиях. Какие дополнительные критерии, учитывающие, например, стоимость лицензирования, трудозатраты на разработку и тестирование, время простоя оборудования, могли бы дополнить предложенную модель?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и носят дискуссионный характер.

Заключение

Диссертационная работа Дерябина Сергея Андреевича является самостоятельным, завершённым научным исследованием, отвечающим требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор демонстрирует глубокие теоретические знания в области системного анализа сложных промышленных систем и владение современным математическим аппаратом (теория графов, дескрипционная логика, теория информации).

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список использованных источников из 142 наименований и 6 приложений. Работа изложена на 191 странице машинописного текста, содержит 60 рисунков, 25 таблиц и 100 формул. Автореферат и

публикации автора, включая 10 печатных работ, в том числе 8 в научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 1 в списке журналов рекомендованных ВАК, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также 3 акта внедрения результатов, верно отражают содержание диссертационной работы.

Считаем, что диссертационная работа «Модели и алгоритмы оценки и анализа архитектур для построения автономно функционирующих горнопромышленных систем», по качеству её проведения, полноте изложения результатов, научной и практической значимости полностью соответствует установленным квалификационным требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ МИСИС и требованиям паспорта специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», а её автор Дерябин Сергей Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация и автореферат Дерябина Сергея Александровича рассмотрены на заседании кафедры системного анализа и управления Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, протокол № 22 от «06» июля 2026 г.

Заведующий кафедрой
системного анализа и управления



Д.А. Первухин

Декан экономического факультета



Ю.В. Ильюшин



Д.А. Первухин, Ю.В. Ильюшин

Подпись
заведующей
кафедрой
системного анализа и управления
и
Начальник управления делопроизводства
и документооборота



Е.Р. Яковлева

06 ИЮЛ 2026