

ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертацию Мадина Владимира Анатольевича на тему «Разработка и исследование моделей интеллектуального анализа больших данных в задачах планирования», представленную в диссертационный совет по защите докторской диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06102 – «Информационные технологии и робототехника» при НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u> 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Тема диссертации соответствует приоритетному направлению «Устойчивое развитие агропромышленного комплекса и безопасность сельскохозяйственной продукции» в части цифровизации и внедрения интеллектуальных систем. 1) Диссертационная работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования по теме BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра», реализуемого в соответствии с приоритетными направлениями научно-технологического развития Республики Казахстан», что подтверждает ее соответствие государственным приоритетам.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не</u> вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не</u> раскрыта.	Диссертационная работа вносит значимый вклад в развитие науки, и её научная важность раскрыта достаточно полно, разработанный гибридный прогнозно-оптимизационный подход к календарному планированию вносит значительный вклад в теорию принятия решений в условиях неопределенности. Впервые предложена формализованная схема интеграции квантильных прогнозов машинного обучения и оценок предиктивного обслуживания (PdM) в оптимизационную модель на основе ограничений (CP-SAT), что расширяет методологию робастного планирования.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>высокий;</u> 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Диссертационное исследование характеризуется высокой степенью авторской автономности на всех этапах его выполнения. Автор самостоятельно провел критический анализ литературы, выявив исследовательский дефицит в методах интеграции PdM (Predictive Maintenance) в календарное планирование. Автором формализованы задачи, разработаны гибридные модели, реализован программный прототип и выполнены вычислительные эксперименты. лично разработана архитектура интеллектуальной системы. Научные работы, опубликованные по теме (9 работ, включая статьи в

			журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК и Scopus), а также 2 свидетельства об авторском праве подтверждают личный вклад соискателя.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность работы продиктована объективной потребностью промышленности в адаптивных инструментах планирования, способных работать в условиях высокой вариативности Индустрии 4.0. Автор убедительно доказывает, что существующие статические методы MES-систем не обеспечивают нужной гибкости.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>отражает</u> ; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертации отражает тему диссертации в полном объеме. Структура работы строго соответствует заявленной теме: от анализа моделей ИАД (большие данные) до их применения в задачах планирования (JSSP). Все главы последовательно раскрывают аспекты разработки и исследования гибридных моделей.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u> ; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Поставленные цель и задачи в полной мере отражают содержание и направленность диссертационной темы. Цель – разработка и апробация комплекса моделей интеллектуального анализа больших данных для прогнозного планирования производственной деятельности, направленного на повышение обоснованности и эффективности управленческих решений в условиях неопределенности параметров производственных процессов – декомпозирована на шесть логических задач, решение которых полностью обеспечивает достижение цели.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	В работе прослеживается четкая логическая нить: теоретический обзор (гл. 1) формирует требования к моделям; формализация задачи (гл. 2) создает математический каркас; разработка гибридных ML-компонентов (гл. 3) дает инструменты; эксперименты (гл. 4) доказывают эффективность; реализация (гл. 5) подтверждает практическую применимость.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u> ; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	Автор проводит детальное сравнение разработанных сценариев (S1–S5) с базовым детерминированным методом (S0). Критический анализ включает оценку вычислительной сложности, робастности и качества решений (makespan).
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u> ; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	2) частично новые (25-75%): в диссертации получены результаты, обладающие новизной: 1. Разработан метод гибридного планирования, где квантильные ML-прогнозы выступают не параметрами, а динамическими границами (bounds) оптимизатора. 2. Обоснована архитектура нейро-символической интеграции, объединяющая рекуррентные сети и решатели ограничений. 3. Предложена риск-ориентированная модель коррекции длительностей на основе PdM-метрик.

		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	2) частично новые (25-75%): выводы о том, что использование верхних квантилей прогнозного makespan стабилизирует поиск в CP-SAT решателе, являются оригинальным научным открытием. Также новым является вывод об эффективности LSTM-энкодеров для автоматического извлечения признаков сложности из графовых структур JSSP.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	2) частично новые (25-75%): разработанный алгоритм адаптивного ослабления ограничений (fallback mechanism) является новым техническим решением, обеспечивающим живучесть систем планирования в критических условиях. Управленческое решение по выбору сценария робастности на основе индекса неопределенности R_i является обоснованным и прикладным.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомах с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Достоверность выводов автора подтверждается использованием мировых стандартов оценки алгоритмов. В качестве доказательной базы использованы 80 инстансов Taillard JSSP, что охватывает весь спектр размерностей задач. Применение набора данных NASA C-MAPSS для моделирования рисков оборудования обеспечивает реалистичность и воспроизводимость экспериментов. Статистическая значимость улучшений подтверждена непараметрическими методами анализа (критерий Уилкоксона), что исключает случайный характер полученных результатов. Все теоретические выкладки согласуются с результатами испытаний в ТОО «ОПТИКОРТ», что зафиксировано в акте внедрения.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u>; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	Положение 1: модель гибридного прогнозно-оптимизационного календарного планирования. 7.1 доказано: положение доказано в разделах 3.3–3.5 и 4.2. Показано, что гибридная модель LSTM→XGBoost формирует квантильные оценки (P10, P50, P90) длительностей операций с высокой точностью ($R^2 = 0,9996$). Интеграция этих оценок в CP-SAT в виде верхних границ (сценарии S1–S3) не ухудшает качество расписаний, обеспечивая управляемую робастность. 7.2 нет: использование квантильных прогнозов в оптимизации само по себе известно, но их формализованная интеграция в CP-SAT-модель JSSP именно в виде параметризованных ограничений, а не точечных подстановок, а также связь с гибридной ML-моделью – нетривиальна. 7.3 да: новизна заключается в предложенной схеме «прогнозирование → синтез ограничений → оптимизация», где квантильные оценки становятся инструментом управления допустимым пространством решений. 7.4 широкий: модель применима для широкого класса дискретных производственных систем, формализуемых как JSSP, flow shop, flexible job shop, а также может быть адаптирована под другие задачи комбинаторной оптимизации с неопределенными параметрами.

	7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u>; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	7.5 да: результаты опубликованы в статьях автора в журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, а также в статье, индексируемой в Scopus. Положение 2: математическая модель календарного планирования с учетом рисков технического состояния оборудования. 7.1 доказано: положение доказано в разделах 3.5 и 4.2 на основе данных C-MAPSS. Сценарии S4 и S5, использующие агрегированные PdM-риски, показали формирование более устойчивых расписаний (метрика робастности $R(i)$ снижается) при контролируемом увеличении makespan. 7.2 нет: тривиальным было бы простое исключение оборудования из расписания при высоком риске. Автор предлагает более гибкий механизм: риск влияет на степень консервативности верхних границ makespan через сценарные ограничения, что не является очевидным решением. 7.3 да: новизна заключается в формализованном включении PdM-оценок (вероятностей деградации) непосредственно в оптимизационную модель JSSP через сценарные ограничения (worst-case и expected-risk). 7.4 широкий: модель применима для любых производственных систем, где доступны данные о техническом состоянии оборудования (вибрация, температура, токи и т.д.) и могут быть построены PdM-модели. 7.5 да: результаты опубликованы, в том числе в работе автора «Предиктивное обслуживание шпиндельных подшипников на основе вибродиагностики». Положение 3: алгоритм интеграции прогнозных моделей машинного обучения и оптимизационного планирования. 7.1 доказано: положение доказано в главе 5. Разработанный программный прототип реализует полный контур: от загрузки данных и квантильных прогнозов до CP-SAT-оптимизации и визуализации результатов. 7.2 нет: автор предлагает итеративный механизм с адаптивным ослаблением ML-ограничений (relaxation/fallback) и обратную связь для анализа устойчивости, что нетривиально. 7.3 да: новизна заключается в реализации единого замкнутого контура с формализованной классификацией режимов применения ML-ограничений (bounded, relaxed, fallback, no_ml) и встроенным модулем поддержки принятия решений (ЛПР) для выбора сценария S0–S5. 7.4 широкий: алгоритм не привязан к конкретной ML-модели или оптимизатору. Он может быть воспроизведен с другими библиотеками (например, Gurobi вместо CP-SAT) и другими типами прогнозных моделей. Широко применим в системах поддержки принятия решений для производственного планирования.
--	--	--

			7.5 да: архитектура и алгоритм описаны в главе 5, а их эффективность подтверждена вычислительными экспериментами главы 4. Результаты опубликованы в серии статей, включая работы по адаптивному управлению «Adaptive process management using deep learning on a programmable logic controller (PLC)» (Агдавлетова А., Мадин В. и др., 2025)
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	да: выбор методологии в диссертации полностью обоснован и подробно описан. Автор использует комплекс взаимодополняющих методов (системный анализ, ML, оптимизация, статистика), что соответствует сложности решаемой научной задачи.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да; 2) нет.	да: все результаты диссертации получены с применением актуального инструментария на воспроизводимой вычислительной среде с фиксированными версиями библиотек и параметрами решателя. Это исключает влияние случайных факторов и соответствует лучшим практикам вычислительного эксперимента.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да; 2) нет.	да: теоретические выводы опираются на воспроизводимые экспериментальные данные и статистически обоснованы.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	подтверждены: диссертация содержит 229 источников литературы, из которых: Классические фундаментальные работы: Garey & Johnson (1979) – NP-трудность JSSP; Koenker & Bassett (1978) – квантильная регрессия; Hochreiter & Schmidhuber (1997) – LSTM. Современные обзоры (2019–2025): Xiong et al. (2022) – обзор JSSP; Dautère-Pérès et al. (2024) – flexible job shop; Bentéjac et al. (2021) – сравнение градиентного бустинга. Актуальные прикладные работы (2023–2025): Calamita et al. (2025) – оценка рисков в JSSP; Infantes et al. (2024) – обучение для JSSP в условиях неопределенности. Ссылки актуальны (более 30% источников – за последние 5 лет), релевантны тематике и охватывают все ключевые направления: теорию расписаний, машинное обучение, оптимизацию, риск-менеджмент.
		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	достаточны: 229 источников – объем, достаточный для PhD диссертации по техническим наукам, а литературная база является достаточной и актуальной.
9		9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да;	да: развита методология интеграции ML и оптимизации через квантильные прогнозы, расширена теория робастного планирования JSSP с учетом PdM-

	Принцип практической ценности	2) нет. 9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет. 9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	рисков, формализован замкнутый контур «прогнозирование → синтез ограничений → оптимизация → анализ устойчивости». да: разработан программный прототип, внедренный в ТОО «ОПТИСОРТ» (акт от 10.11.2025) и в учебный процесс университета. Предложены практические рекомендации по выбору сценария планирования в зависимости от неопределенности и рисков. частично новые (25–75%): новыми являются гибридная модель LSTM→XGBoost для JSSP, интеграция квантилей в CP-SAT, PdM-сценарии S4–S5, контур с адаптивным ослаблением ограничений, модуль ЛПП. Известными остаются использование CP-SAT, XGBoost и самой идеи predict→optimize.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	высокое: диссертация написана на высоком академическом уровне, характерным для серьезных технических исследований. Стиль изложения отличается ясностью, строгостью и логичностью. Автор корректно использует специальную терминологию (makespan, JSSP, RUL, SHAP, CP-SAT), обеспечивая единство понятийного аппарата на протяжении всей работы. Оформление работы полностью соответствует утвержденным требованиям. Графический материал (38 рисунков) выполнен в едином стиле, диаграммы Ганта, графики распределения квантилей и структуры нейросетей наглядны и информативны. Таблицы (17 шт.) систематизируют большой объем эмпирических данных, облегчая их восприятие. Ссылки на литературу и нормативные документы приведены корректно. Структура работы сбалансирована: объем разделов соответствует их значимости в решении поставленных задач.
11.	Замечания диссертации	к	При общей высокой оценке работы, необходимо отметить ряд моментов, носящих дискуссионный характер или требующих уточнения: 1) В Главе 5 при описании архитектуры системы упоминается модуль ЛПП. Рецензент рекомендует в дальнейших исследованиях расширить функционал этого модуля за счет внедрения механизмов автоматического обучения на основе обратной связи от диспетчеров предприятия, что позволит системе самоадаптироваться к специфическим условиям конкретных производственных площадок. 2) В разделе 3.3 автор описывает использование латентных представлений LSTM для классификации сложности задач. Однако в работе недостаточно подробно раскрыт вопрос интерпретации этих представлений. Было бы ценно увидеть, какие именно структурные особенности технологических маршрутов «выделяет» нейросеть (например, через визуализацию весов внимания или проекции в пространство меньшей размерности типа t-SNE).
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные		Научный уровень публикаций докторанта полностью соответствует требованиям, предъявляемым к PhD диссертациям в форме серии статей. Из 9 опубликованных работ 6 статей в журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, и 1 статья в издании, индексируемом Scopus, совместно охватывают все этапы исследования: от теоретического анализа нейросетевых архитектур (2023–2024 гг.) до разработки гибридной модели LSTM→XGBoost (2025 г., Scopus), внедрения методов предиктивного обслуживания (вибродиагностика, 2025 г.) и программной реализации интеллектуальной системы планирования, подтвержденной двумя свидетельствами об авторском праве (№61130 от 31.07.2025, №66964 от 02.02.2026). Публикации в полной мере отражают основные научные результаты диссертации, включая

	рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	формализацию квантильной интеграции ML в CP-SAT, учет PdM-рисков и реализацию замкнутого контура планирования, что свидетельствует о высоком научном уровне и достаточной апробации работы.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Присудить степень доктора философии (PhD) или доктора по профилю (в случае защиты в диссертационном совете при ОВПО, имеющем особый статус) или ходатайствовать перед Комитетом для присуждения докторанту степени доктора философии (PhD) или доктора по профилю (в случае защиты в диссертационном совете при ОВПО, не имеющем особый статус).

Решение официального рецензента:

Диссертационная работа по теме «Разработка и исследование моделей интеллектуального анализа больших данных в задачах планирования» соответствует всем требованиям образовательной программы 8D06102 – «Информационные технологии и робототехника». А автор, **Мадин Владимир Анатольевич** заслуживает присвоение ученой степени доктора философии (Phd) по образовательной программе «8D06102 – Информационные технологии и робототехника»

Официальный рецензент:

ассоциированный профессор (доцент)

по специальности «Компьютерные науки и информатика»

Северо-Казахстанского университета им.М.Козыбаева,

к.т.н. по специальности 05.25.05 – «Информационные системы и процессы, правовые аспекты информатики»



Курмашев Ильдар Гусманович