

## Отзыв

официального оппонента доктора технических наук,  
профессора Паздерина Андрея Владимировича  
на диссертацию **Осинцева Анатолия Анатольевича**  
**«Интеллектуальное децентрализованное управление режимами и  
релейная защита оборудования электрических сетей  
с распределённой (малой) генерацией»**  
на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 2.4.3. - «Электроэнергетика»

**1. Актуальность темы**

В настоящее время одним из определяющих трендов развития мировой и отечественной электроэнергетики является децентрализация производства электроэнергии, внедрение объектов малой генерации и интеграции их в существующие распределительные электрические сети. Формируемые на базе таких объектов локальные интеллектуальные энергосистемы, активные энергетические комплексы, мини- и микрогриды превращают традиционно пассивные распределительные сети в активные электрические сети нового типа, характеризующиеся двунаправленными потоками мощности, высокой динамикой электромеханических переходных процессов и многообразием интересов собственников оборудования.

Вместе с тем, традиционные централизованные системы оперативного и автоматического противоаварийного управления, доказавшие свою эффективность в крупных энергообъединениях, в сетях с распределённой малой генерацией демонстрируют недостаточное быстродействие, высокую стоимость создания и эксплуатации развитой телекоммуникационной инфраструктуры, а также повышенную уязвимость к кибератакам. Существующие подходы к организации релейной защиты в условиях многосторонней подпитки точки короткого замыкания и вариативности состава генерирующего оборудования также не обеспечивают требуемого уровня селективности и чувствительности.

В диссертационной работе Осинцева А.А. поставлена и решается важная научно-техническая проблема — создание теоретических и технологических основ для децентрализованного мультиагентного управления режимами и релейной защиты оборудования активных распределительных электрических сетей. В отличие от известных решений, ориентированных на использование централизованных иерархических систем, либо распределённых систем с развитым информационным обменом, в работе предлагается и обосновывается концепция децентрализованного управления, при котором глобально-оптимальное состояние энергосистемы достигается как синергетический эффект от совокупности локально-оптимальных решений, принимаемых интеллектуальными агентами. С учётом перечисленных факторов считаю, что диссертационная работа Осинцева А.А., посвящённая разработке методов, алгоритмов и технических решений по интеллектуальному децентрализованному управлению режимами и релейной защите оборудования электрических сетей с распределённой малой генерацией, является актуальной, обладает научной новизной и имеет высокую практическую значимость для

развития электроэнергетики Российской Федерации.

## **2. Соответствие паспорту научной специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. «Электроэнергетика» в части направлений исследования: п.8 «Разработка и обоснование алгоритмов и принципов действия устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики для распознавания повреждений, определения мест и параметров повреждающих (возмущающих) воздействий в электрических сетях»; п.11 «Разработка методов мониторинга и анализа режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид»; п.16 «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике»; п.20 «Разработка методов использования информационных и телекоммуникационных технологий и систем, искусственного интеллекта в электроэнергетике, включая проблемы разработки и применения информационно-измерительных, геоинформационных и управляющих систем для оперативного и ретроспективного мониторинга, анализа, прогнозирования и управления электропотреблением, режимами, надежностью, уровнем потерь энергии и качеством электроэнергии».

## **3. Анализ содержания работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, словаря терминов, списка использованных источников из 280 наименований, шести приложений и содержит 433 страницы машинописного текста, 192 рисунка и 24 таблицы.

Автореферат достаточно полно отражает основные положения диссертации: актуальность, цель работы, задачи исследований, научную новизну результатов, теоретическую и практическую значимость, основные положения и результаты, выносимые на защиту, методы исследований и достоверность полученных результатов, их апробацию, список публикаций автора по теме диссертации.

**Первая глава** работы посвящена анализу современного состояния и тенденций развития распределительных электрических сетей в условиях массового внедрения объектов малой генерации. Рассмотрены предпосылки децентрализации производства электроэнергии, особенности формирования активных распределительных сетей и локальных интеллектуальных энергосистем. Отмечены ограничения традиционных централизованных систем управления и релейной защиты применительно к сетям нового типа, обусловленные высокой динамикой переходных процессов, низкой инерционностью генерирующего оборудования и экономической нецелесообразностью создания развитой телекоммуникационной инфраструктуры. Обоснована необходимость перехода к децентрализованным мультиагентным системам управления, способным обеспечивать надёжное функционирование активных электрических сетей в условиях неполноты информации и отсутствия единого центра управления.

**Вторая глава** диссертации содержит теоретическое обоснование и методологическое развитие децентрализованного мультиагентного подхода к решению системных задач режимного управления активными

распределительными электрическими сетями. Предложены способы децентрализованного регулирования частоты, включая принципы самопереназначения ведущей электростанции для вторичного регулирования и автоматической коррекции мощности станций, участвующих в первичном регулировании, для восстановления резервов. Представлены подходы к децентрализованному поддержанию баланса реактивной мощности и регулированию напряжения в контролируемых районах сети на основе локальных и косвенных измерений.

**В третьей главе** предложены теоретические и технологические основы децентрализованного противоаварийного и послеаварийного управления активными распределительными сетями. Предложен способ противоаварийной фрагментации сети на максимально сбалансированные энергорайоны, способные к устойчивой островной работе, основанный на анализе локальных контролируемых параметров без использования информационных каналов связи. Сформулированы принципы организации релейной защиты в самовосстанавливающихся сетях с малой генерацией, обеспечивающие селективность и чувствительность в условиях многообразия режимов и конфигураций электрической сети.

**В четвертой главе** работы предложена модель роевого искусственного интеллекта экспертного типа для децентрализованного восстановления целостности сети и нормального режима после аварийного или противоаварийного разделения, а также представлены результаты практической реализации и экспериментального исследования разработанной технологии децентрализованного мультиагентного управления (ДМАУ). Описаны процессы прототипирования интеллектуальных агентов на базе промышленных программируемых логических контроллеров, включая разработку их алгоритмических моделей и графических интерфейсов. Приведены результаты экспериментальных исследований агентов регулирования напряжения, агентов синхронизации, агентов сетевых выключателей, а также агентов автоматического регулирования частоты и мощности. Подробно описаны комплексные испытания, подтвердившие работоспособность и эффективность предлагаемой технологии ДМАУ в условиях, моделирующих различные нормальные, аварийные и послеаварийные режимы.

**Пятая глава** посвящена совершенствованию алгоритмов релейной защиты и противоаварийной автоматики применительно к объектам малой распределённой генерации в контексте их интеграции в общую систему децентрализованного управления. Разработаны специализированные алгоритмы быстродействующих ступеней автоматики ограничения повышения частоты по скорости её изменения с блокирующим органом на основе реле сопротивления, обеспечивающие время ожидания блокировки 20–40 мс. Предложены методы измерения динамической частоты напряжения, позволяющие повысить точность и быстродействие автоматик, использующих в своих алгоритмах данный параметр, в условиях интенсивных электромеханических переходных процессов. Разработаны алгоритмы функционирования продольной дифференциальной защиты генераторов, основанные на структурных методах теории распознавания образов и искусственных нейронных сетях, обеспечивающие устойчивую

идентификацию аварийных режимов при существенных искажениях вторичных сигналов измерительных трансформаторов тока.

Выводы, содержащиеся в **заключении**, обобщают основные теоретические и практические результаты диссертационной работы. Выводы достоверны, теоретически обоснованы и подтверждены результатами практического внедрения результатов работы и физических и вычислительных экспериментов.

**В приложениях** представлены дополнительные материалы, детализирующие и подтверждающие основные результаты диссертации, а именно: Включены результаты отдельных этапов комплексных испытаний технологии децентрализованного мультиагентного управления, детализирующие динамику изменения режимных параметров и последовательность управляющих воздействий. Представлены копии патентов РФ на изобретения и свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, подтверждающие новизну и приоритет разработок. Завершают приложение акты о внедрении результатов диссертационного исследования в деятельность профильных организаций и образовательный процесс. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и завершённостью, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов.

Основные выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором структурно логично и содержательно. Диссертационная работа написана грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении

#### **4. Степень достоверности результатов и обоснованности выводов**

Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных положений, полученных результатов и сформулированных выводов обеспечивается корректным применением математического аппарата, непротиворечивостью данных аналитических исследований и вычислительных экспериментов, а также использованием физического моделирования активной электрической сети. Подтверждением также служат результаты испытаний, проведенных на разработанной физической модели и ее модификациях с использованием прототипов устройств децентрализованного мультиагентного режимного и противоаварийного управления.

#### **5. Апробация работы и подтверждение опубликования её основных положений и результатов**

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Акты о внедрении результатов диссертационной работы представлены в приложении к диссертации.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ, из которых 13 – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в

которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК) по специальности 2.4.3 «Электроэнергетика», 2 – в зарубежных научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, а также получены 2 патента РФ на изобретение и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

## **6. Научная новизна и теоретическая значимость результатов и выводов**

**Научная новизна** основных положений и результатов работы заключается в следующем:

а. Разработаны теоретические основы децентрализованного решения системных задач комплексного управления режимами электрических сетей с распределённой малой генерацией, включающие совокупность принципов, аксиом и методов, определяющих новую парадигму управления активными распределительными сетями.

б. Обосновано применение принципа разделения времени принятия решений агентами при децентрализованном управлении режимами электрических сетей с распределённой генерацией, обеспечивающее непротиворечивость и скоординированность управляющих воздействий в условиях отсутствия единого координирующего центра.

в. Расширено представление об информативности контролируемых локально параметров установившихся и переходных режимов для децентрализованного решения системных задач управления активными электрическими сетями, включая использование частоты собственных колебаний генераторов в качестве диагностического признака.

г. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность ограничения предельной по статической устойчивости мощности, выдаваемой генераторами в сеть, по признаку снижения частоты их собственных колебаний, что позволяет предотвращать нарушение устойчивости без использования централизованных систем мониторинга запасов устойчивости.

д. Разработана модель экспертного роевого искусственного интеллекта применительно к задачам противоаварийной фрагментации активных электрических сетей и их последующего восстановления, обеспечивающая децентрализованное принятие решений на основе локально наблюдаемых параметров.

е. Экспериментально доказана возможность децентрализованного комплексного управления режимами электрических сетей с распределённой генерацией, включающего регулирование частоты и напряжения, противоаварийное разделение и послеаварийное восстановление целостности сети.

ж. Доказана возможность и показаны преимущества применения искусственной нейронной сети в алгоритмах восстановления вторичного тока трансформаторов тока и продольной дифференциальной защиты генератора, обеспечивающих устойчивую идентификацию аварийных режимов при существенных искажениях входных сигналов.

**7. Теоретическая значимость** исследований автора определяется тем, что

проведены исследования, на основании которых разработаны новые теоретические положения, принципы и методы децентрализованного мультиагентного управления режимами электрических сетей с распределённой малой генерацией. Теоретически обоснованы и разработаны принципы функционирования семейства интеллектуальных устройств (агентов) технологии ДМАУ: агентов регулирования частоты и мощности, регулирования напряжения в районе сети, удалённой синхронизации, сетевых выключателей, экспресс отключения. Обоснован новый теоретический подход к организации релейной защиты линий электропередачи и противоаварийной автоматики в сетях с распределённой малой генерацией, базирующийся на согласованном действии группы устройств неселективной защиты и устройств децентрализованного мультиагентного управления восстановлением. Разработан способ автоматической самонастройки коэффициентов ПИ-регуляторов частоты и обменной мощности. Разработаны алгоритмы дифференциальной защиты генератора, базирующиеся на структурных методах теории распознавания образов и искусственных нейронных сетях, обеспечивающие устойчивую идентификацию аварийных режимов при существенных искажениях вторичных сигналов измерительных трансформаторов тока.

#### **8. Практическая значимость работы**

Значимость результатов диссертационной работы для практики определяется тем, что разработаны и доведены до уровня опытно-промышленных образцов прототипы интеллектуальных устройств (агентов) децентрализованного мультиагентного управления режимами электрических сетей с распределённой малой генерацией, прошедшие экспериментальную проверку на специализированном цифро-физическом испытательном стенде. Разработанные технические решения обеспечивают возможность создания полностью автономных систем управления, функционирующих без диспетчерских центров и развитой телекоммуникационной инфраструктуры.

Практическая значимость подтверждена внедрением результатов работы в деятельность АО «ТЭСС» (использование технологии ДМАУ при проектировании интеллектуальных энергосистем, отражение в стандарте организации), АО «ИАЭС» (использование основ реализации подсистем децентрализованного регулирования частоты и напряжения при разработке программного обеспечения шкафа автоматики ЛИЭС), ООО «Модульные Системы Торнадо» (реализация алгоритмов автоматической самонастройки регуляторов в составе программно-аппаратного комплекса управляемого интеллектуального соединения АЭК), ООО «МБМ Групп Проектный Институт» (использование решений по неселективной релейной защите при проектировании энергоцентров для тепличных комбинатов), а также использованием результатов в образовательном процессе Новосибирского государственного технического университета при подготовке магистрантов и аспирантов. Таким образом, предложенные в диссертации методы и алгоритмы обладают высокой степенью готовности к практическому применению и могут быть тиражированы при создании систем управления для широкого класса объектов распределённой генерации и локальных интеллектуальных энергосистем.

## 9. Замечания по диссертационной работе

1. Базовая концепция мультиагентного управления теории систем предполагает независимое самоорганизующееся децентрализованное управление. В диссертационной работе в качестве агентов выступают такие субъекты энергетики, как диспетчерские центры и конфигурирующие администраторы, в чем видится противоречие. Данные субъекты энергетики по определению являются представителями централизованных принципов управления энергосистемами.
2. В промышленных кластерах, технопарках и особых экономических зонах зачастую имеется 3-4 объекта генерации небольшой мощности, относящиеся к разным субъектам энергетики с противоречащими друг другу экономическими интересами, конкурирующими за полезный отпуск электрической и тепловой энергии и стремящимся минимизировать (переложить) затраты на реконструкцию прилегающей сети при осуществлении технологического присоединения объекта генерации. Физически режимы работы данных объектов неразрывно связаны, но их объединение в ЛИЭС в рамках предложенных в диссертационной работе подходов невозможно. Однако, координация режимов их работы является возможной для мультиагентных систем в их традиционном (абсолютно децентрализованном) понимании. Работу было бы целесообразно дополнить принципами функционирования ЛИЭС с внешними активными влияющими объектами, не входящими в ЛИЭС.
3. Было бы полезным провести более детальное исследование возможных и эффективных временных интервалов работы отдельных агентов и этапов функционирования ЛИЭС в зависимости от мощности и инерционности системы, а также агрегатной базы генерации, в том числе, для случаев комбинированного (разнородного) состава генерирующего оборудования.
4. В Главе 2 работы представлен и описан интересный подход к управлению частотой и активной мощностью генерирующих агрегатов без необходимости создания единой системы управления в условиях отсутствия коммуникационных связей. За счет применения внутреннего системного тактирования для выделения интервалов работы и смены режимов работы генерации достигается ее поочередное «слепое» участие во вторичном автоматическом регулировании в условиях уже выбранного состава включенного оборудования. Применение такой системы для управления в условиях возможных внеплановых ограничений на располагаемую мощность, отключений и изменений режимов работы генерации оператором, которые часто встречаются в эксплуатации локальных энергосистем, может быть причиной нарушения работы описанных для агентов правил. Каким образом раздельное локальное управление может обеспечить корректную работу на один режим нескольких локальных интеллектуальных энергосистем в таких условиях?
5. В Главе 3 рассматривается процесс появления колебаний мощности локальной энергосистемы при синхронизации с сетью общего пользования, который предлагается использовать для идентификации параллельной работы, действительно имеет место и ярко выражен в условиях квазиустановившихся режимов работы. При развертывании системы управления в сетях крупных промышленных предприятий с большими колебаниями нагрузки

(достигающими от 50 до 120 %) наблюдаемые колебания могут мимикрировать под режим выхода на параллельную работу и ошибочно расценены автоматикой. Возможно ли выполнить отстройку от нагрузки и как может быть формализован данный критерий в виде качественной/количественной уставки?

6. Может ли задача управления реактивной мощностью выполнить регулирование напряжения в узлах сети, представленной в фазных координатах, и требуется ли для этого переработка правил взаимодействия агентов?

7. Проблеме восстановления вторичного тока трансформаторов тока в условиях насыщения стали магнитопровода уделяется все больше внимания, а наиболее популярным инструментом решения данной проблемы становится использование искусственных нейронных сетей. При обосновании необходимости восстановления тока следует учитывать тактирование реальных микропроцессорных устройств (от 2.5 до 5 мс), которое дополнительно добавляет время в условиях попадания энергии в зону срабатывания пускового органа на начало такта работы устройства. При решении задачи восстановления мгновенных значений дифференциального тока стоит не только оценить предполагаемую зону возникновения повреждения, но и убедиться, что восстановление будет выполняться не в режимах блокировки защиты со схожим с насыщением трансформатора тока гармоническим спектром или формой искаженного электрического сигнала (например, при реализации дифференциальной защиты блока генератор-трансформатор).

8. Из описания технических решений Главы 5 не вполне ясно, каков практический смысл выявления КЗ за 60-80 мс при предельном времени отключения 100 мс, если за оставшиеся 20-40 мс осуществить отключение и информационный обмен между терминалами РЗА для подтверждения отключения внешнего КЗ представляется затруднительным. В подобных случаях координация действия устройств РЗА достигается за счет блокировки токовой отсечки, МТЗ и ДЗГ от пусковых органов неполной дифференциальной или логической защиты шин с контролем направления протекания тока от источников подпитки за 12-40 мс.

9. Какие методы были применены для нормализации (приведение различных КЗ в единый масштаб) и стандартизации (преобразование распределения выборки данных в распределение с нулевым мат. ожиданием) токовых данных на этапе предобработки для восстановления искаженной формы кривой вторичного тока? С какой шириной применилась оконная функция при предобработке данных? Если ее сократить до времени меньше, чем один период — снижается эффект предобработки. А если увеличить — растет временная задержка алгоритма защиты.

#### **10. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»**

Диссертационная работа Осинцева А.А. соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842:

а. П.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором решена научная проблема управления режимами и релейной защиты оборудования электрических сетей с распределённой малой

генерацией, а практическое применение результатов проведённого исследования вносит значительный вклад в развитие энергетической инфраструктуры Российской Федерации. Более того, совокупность разработанных теоретических положений, включая принципы децентрализованного управления частотой и напряжением, методы противоаварийной фрагментации и послеаварийного восстановления, алгоритмы самонастройки регуляторов частоты и активной мощности и интеллектуальной релейной защиты, образует целостную научную концепцию, которую следует квалифицировать как значимое научное достижение в области электроэнергетики.

б. *П.10.* Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе соискателя в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов, рекомендаций и использования научных выводов.

с. *П.11-П.13.* Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в том числе 13 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus, что в силу пункта 12(1) приравнивается к публикациям в рецензируемых изданиях. Кроме того, в соответствии с пунктом 12(1) к рецензируемым изданиям приравниваются 2 патента на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, которые подтверждают новизну и практическую реализуемость разработок. Научные публикации, изданные в период работы над диссертацией, соответствуют тематике диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают её суть, основные результаты и выводы.

д. *П.14.* В диссертации и автореферате соискателем отмечается использование результатов научных работ, выполненных лично и в соавторстве, имеются ссылки на соавторов. Диссертация соответствует требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

### **11.Общее заключение**

Представленная на отзыв диссертационная работа Осинцева А.А. является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, научной новизны и практической значимости.

В ней решена научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение для развития электроэнергетики России, – создание теоретических и технологических основ для децентрализованного мультиагентного управления режимами и релейной защиты оборудования активных распределительных электрических сетей. Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей – реализацией системных задач управления электрическими сетями с малой генерацией на основе роевого искусственного интеллекта экспертного типа, при котором глобально-оптимальное состояние энергосистемы достигается как синергетический эффект от совокупности локально-оптимальных решений, принимаемых интеллектуальными агентами без использования централизованных диспетчерских центров и развитой телекоммуникационной инфраструктуры.

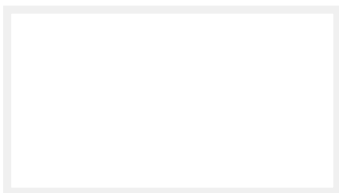
Основные научные выводы и практические рекомендации сделаны автором на основе подробного анализа современного состояния проблемы и разработки им новых способов, методов и алгоритмов, включающих, в том числе, способ децентрализованного регулирования частоты с самопереназначением ведущей электростанции, модели роевого интеллекта для противоаварийной фрагментации и последующего восстановления электрической сети, алгоритмы автоматической самонастройки ПИ-регуляторов, нейросетевые алгоритмы, повышающие устойчивость функционирования токовых защит в условиях искажения вторичных токов трансформаторов тока. Содержание представленной диссертационной работы полностью соответствует паспорту специальности 2.4.3. «Электроэнергетика».

Содержание диссертации полностью соответствует заявленным целям и поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана грамотным языком, выводы и рекомендации изложены аргументировано. Основные научные результаты работы подробно изложены в публикациях в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК.

Сделанные в п.9 замечания носят частный характер и не снижают в целом положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа А.А. Осинцева полностью отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства от 24 сентября 2013 г. №842, а соискатель заслуживает присуждение ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.3. «Электроэнергетика».

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные электрические системы», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»



Паздерин Андрей Владимирович

«25» марта 2026 г.

Электронная почта: a.v.pazderin@urfu.ru  
Телефон: +7 (343) 375-48-75.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул.  
Электронная почта: contact@urfu.ru  
Телефон: 8-800-100-50-44

*Паздерин А.В.*

Подпись заверяю:

УЧЁНЫЙ СЕКР  
УРФУ

*Отзыв получен 30.03.2026*  
*Оу. Овчинникова А.Г.* МОРОЗОВА В.А.  
*с отзывом возвращен 30.03.2026 г.*