

**ОТЗЫВ  
официального оппонента  
на диссертационную работу Меркульева Сергея Алексеевича на тему  
«Повышение эксплуатационной надежности непрерывных  
технологических процессов с использованием динамической экспертной  
системы», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами (технические науки)**

**Актуальность темы диссертационного исследования**

Актуальность темы диссертации Меркульева С.А. обусловлена необходимостью повышения уровня надежности непрерывных технологических процессов и минимизации техногенных аварий. В условиях роста объемов производства и увеличения количества предприятий, использующих опасные химические вещества, возрастают риск аварийных ситуаций, которые могут привести к серьезным экологическим, экономическим и социальным последствиям. Также имеет место проблема кадрового дефицита, когда предприятия испытывают трудности с поиском и удержанием высококвалифицированных специалистов, способных эффективно управлять сложными технологическими процессами. Интеллектуальная система (система поддержки принятия решений) способна компенсировать недостаток опыта специалистов за счет алгоритмов автоматического распознавания предаварийных ситуаций и выдачи конкретных рекомендаций по их устранению.

Поэтому актуальными и практически значимыми являются исследования, связанные с разработкой и совершенствованием существующих методов и алгоритмов диагностики состояний непрерывных технологических процессов с применением методов и систем искусственного интеллекта. Такие разработки способны ускорить анализ аварийных ситуаций для принятия обоснованных решений по устранению дефектов технологического процесса.

На основании изложенного можно заключить, что тема диссертационного исследования является актуальной, а решение задачи разработки методики повышения эксплуатационной надежности непрерывных технологических процессов посредством применения интеллектуальных (экспертных) систем обладает научной и практической ценностью.

**Краткая характеристика диссертационной работы и обоснование  
степени новизны основных полученных результатов**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Основной текст, включая список литературы,

содержит 100 страниц, 25 таблиц, 15 рисунков. Список литературы включает 106 наименований. В приложениях (стр. 101-157) приведены акт об использовании результатов диссертационной работы, деревья отказов и исследуемые данные.

В диссертации отражены все аспекты проведённого исследования, название работы полностью соответствует её направлению и содержанию. Список литературы включает публикации по рассматриваемой проблематике, на которые в тексте диссертации имеются ссылки. Работа написана хорошим языком, ее положения аргументированы, изложены логически связанно и содержательно с использованием необходимого формального, графического и иллюстративного материала. Автореферат полностью соответствует сути исследования и отвечает содержанию диссертации.

*В введении* (стр. 5-9) обосновывается актуальность проблемы диагностики опасных производственных процессов. Четко сформулирована цель и поставлены задачи диссертационного исследования. Изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

*В первой главе* (стр. 10-30) проводится комплексный анализ проблем диагностики эксплуатационной надежности непрерывных многостадийных производств. Выделяются три основных подхода к обеспечению безотказной работы: технологический путь, автоматизированные системы диагностики (АСД) и автоматизированные системы управления (АСУ). Особое внимание уделяется параметрической диагностике на основе теории интервального анализа как перспективному методу обработки неточных данных. Анализируются преимущества и недостатки систем поддержки принятия решений (СППР), а также подробно рассматривается применение статических и динамических экспертных систем (ЭС) для повышения надежности технологических процессов. В заключительном параграфе формулируются конкретные задачи исследования, направленные на преодоление выявленных недостатков современных диагностических систем.

*Во второй главе* (стр. 31-53) детально описывается методика повышения эксплуатационной надежности на примере производства неконцентрированной азотной кислоты. Представлена схема технологического процесса и указаны основные материальные потоки. Определяется перечень измеряемых технологических переменных и вычисляемых диагностических показателей с их нормативными границами. Далее описывается предложенная методика, составляющая научную новизну работы. Основу методики составляет алгоритм обнаружения точки бифуркации с помощью метода двойного скользящего окна, анализирующий переход системы из стационарного в нестационарное состояние. Для формирования гипотез о причинах неисправностей предлагается использовать теорию свидетельств Демпстера-Шафера. Завершает главу описание базы

знаний ЭС. Представлены деревья отказов для различных технологических цепей производства.

*В третьей главе* (стр. 54-61) представлена архитектура и дано описание программного комплекса динамической ЭС, являющейся по сути экспертной СППР реального времени (ЭСППР РВ). Программный комплекс разработан на языке C# и состоит из трех основных модулей: анализа текущего состояния, формирования гипотез и логического вывода. Модуль анализа реализует метод двойного скользящего окна для обнаружения бифуркаций в потоке данных технологических параметров. Модуль формирования гипотез использует теорию свидетельств Демпстера-Шафера для расчета степеней уверенности и правдоподобия различных гипотез о причинах неисправностей. Модуль логического вывода интегрирует ядро ЭС на основе языка CLIPS для работы с базой знаний. Описаны структурная и интеграционная схемы системы, алгоритмы работы каждого модуля и разработанный пользовательский интерфейс.

*В четвертой главе* (стр. 62-84) описаны экспериментальные исследования для обоснования предложенной методики на примере производства неконцентрированной азотной кислоты. Проведена оценка показателей надежности на основе реальных данных, которая подтвердила увеличение вероятности безотказной работы технологической системы.

*В заключении* (стр. 85-86) подведены итоги диссертационного исследования, посвященного проблеме диагностики непрерывных многостадийных технологических производств.

### **Теоретическая значимость и практическая ценность результатов диссертации**

*Теоретическая значимость* работы заключается в создании методики, использующей метод двойного скользящего окна для обнаружения бифуркаций, теорию свидетельств для формирования гипотез, которая позволяет перейти от контроля граничных значений к прогнозной аналитике и избежать ошибок диагностики, характерных для традиционных методов.

*Практическая ценность* подтверждена внедрением разработанного программного комплекса в виде ЭС (ЭСППР РВ) на производстве неконцентрированной азотной кислоты, что позволило повысить вероятность безотказной работы технологического процесса. Результаты работы позволяют сократить время диагностики, минимизируют риски аварийных остановок. Следует отметить, что полученные результаты можно применить также на других непрерывных производствах.

### **Соответствие полученных результатов шифру специальности**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации соответствует Паспорту специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление

технологическими процессами и производствами (технические науки)» в части п. 15. «Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.».

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Во введении (стр. 5) отмечается, что «Проблема обнаружения аномалий в сложных динамических системах является развивающейся областью научных исследований и активно обсуждается в литературе. [1-10]», дается ссылка на 9 работ автора Ткалича С.А., 7 из которых изданы в период 2008-2011 гг. Вполне можно было обойтись ссылками только на последние работы Ткалича С.А. [2] (2018 г.) и [5] (2019 г.), а также следовало добавить к этому списку современные публикации по обнаружению аномалий в сложных динамических системах. Далее в п. 1.3 при анализе существующих СППР записано (стр. 21), что «Чаще всего решения принимаются без использования СППР, основываясь лишь на опыте ЛПР и его интуиции. [42]», при этом ссылка дается на работу [42] 2016 г. издания. Следовало бы использовать более современные работы (например, в журналах «Искусственный интеллект и принятие решений», «Программные продукты и системы», в трудах научно-технических конференций, в частности, периодических конференций по искусственному интеллекту (КИИ) и т.д.), где отмечается именно внедрение СППР, в том числе интеллектуальных СППР РВ, для поддержки ЛПР при мониторинге и управлении сложными техническими/технологическими объектами и процессами. Аналогичное замечание можно высказать и относительно утверждения «Имеется два основных подхода к автоматизированному диагнозу дефектов. [22, 58]» (стр. 25), которое базируется на работах [22] (1983 г.) и [58] (1985 г.), – в действительности, таких подходов и методов существенно больше, включая и их интеграцию. Данные примеры можно продолжить. Вообще относительно представленного списка литературы можно заметить, что в нем 38 работ из 106 изданы в период 1965–1999 гг., многие из которых устарели к настоящему времени как в плане диагностики сложных технологических процессов, так и в плане конструирования современных интеллектуальных систем, в том числе динамических ЭС/ЭСППР РВ.

2. Динамические ЭС/ЭСППР РВ, предназначенные для помощи ЛПР (оперативно-диспетчерскому персоналу) при мониторинге, диагностике и управлении сложными системами и процессами. Фактор времени (времени поиска решения), а также качество и надежность результата, являются для них основными критериями. В работе предложен ряд алгоритмов, три из них отмечены в Акте об использовании результатов работы (Приложение А, стр.

101), но оценки сложности предложенных алгоритмов и их временные характеристики не приводятся.

3. Справедливо отмечая, что «Динамические экспертные системы – это системы, которые способны учитывать изменения во времени и адаптироваться к новым условиям. Они используются для решения задач, где входные данные и условия могут меняться в процессе работы» (стр. 22), автор практически не уделяет внимание и даже не указывает на схеме разработанной им ЭС ExpSystem (рис. 3.2) один из основных модулей динамических ЭС/ЭСПР РВ – модуль приобретения и накопления знаний, необходимый для формирования корректной БЗ, а также не рассматривает вопросы проверки корректности БЗ – ее непротиворечивости и полноты (квази полноты для динамических систем).

4. Замечания по оформлению работы: в тексте имеется довольно много сокращений, причем некоторые из них предварительно не расшифрованы, – следовало бы включить в текст работы список основных сокращений; также полезно было бы добавить краткие выводы по главам; латинские символы при записи математических зависимостей и переменных, то выделены в тексте курсивом, то нет; перечисления после двоеточия следует давать со строчной буквы и оканчивать (кроме последнего) точкой с запятой (в работе используются соответственно прописные буквы и точка).

### **Оценка соответствия диссертации требованиям «Положения о присуждении ученых степеней»**

Отмеченные выше замечания не влияют на положительную итоговую оценку диссертации в целом. Апробация результатов осуществлялась на ряде российских и международных научных, научно-технических и научно-практических конференций. Результаты участия в этих мероприятиях свидетельствуют о том, что основные положения диссертации были представлены соискателем в необходимом объеме. По материалам диссертации опубликовано 4 печатные работы: 2 статьи в рецензируемых журналах, включенных в список ВАК; 1 статья в журнале, индексируемом в международной реферативной базе Scopus. Работы опубликованы в установленные сроки, необходимые для ознакомления с полученными результатами широкой научной общественности.

### **Заключение**

Анализ диссертационного исследования Меркульева С.А. позволяет сделать вывод о том, что оно представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в разработке методики повышения эксплуатационной надежности непрерывных технологических процессов.

Диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (ред. от 16.10.2024 г.), соискателю Меркульеву Сергею Алексеевичу может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

### **Официальный оппонент**

Профессор кафедры Прикладной математики и  
искусственного интеллекта Федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский университет «МЭИ»  
(ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»),  
д.т.н., профессор Еремеев Александр Павлович  
«22» 09 2025 г.



Почтовый адрес: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ  
Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.  
Телефон: 8-916-596-14-01, e-mail: eremeev@appmat.ru

Подпись Еремеева А.П. заверяю



ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
УЧЕБНО-научного УЧЕБНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
СКОРОСТЬЮ