

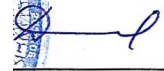
## УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ИПУ РАН

по научной работе

технических наук, профессор



 С.А. Краснова

19 января 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института проблем управления им. В.А. Трапезникова  
Российской академии наук (ИПУ РАН)  
на диссертацию Васильева Евгения Михайловича на тему  
«Модели и методы многоальтернативного управления сложными  
объектами в критических режимах на основе эволюционного подхода»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических  
наук по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами»

### Актуальность темы исследования

Системы и технологические процессы с критическими режимами работы составляют представительный и стратегически важный класс объектов автоматического управления. К ним относят структурно неустойчивые процессы в химической промышленности, электроэнергетические объекты, автономные подвижные аппараты и др. Они не могут полноценно функционировать без автоматического регулирования, при потере управления возникают угрозы возникновения аварий, экологических катастроф и значительных экономических убытков.

Трудности автоматизации систем и технологических процессов с критическими режимами работы обусловлены тем, что соответствующие математические модели являются нестационарными и имеют высокую размерность. Применение к таким объектам классических способов адаптивно-

робастного управления порождает регуляторы большого динамического порядка, реализация которых в промышленных установках сдерживается их громоздкостью и существенным запаздыванием. Возникают ситуации, когда с ростом сложности объекта соответствующее увеличение сложности системы управления становится неэффективным.

В связи с перечисленным можно сделать вывод о существовании важной научной и практической проблемы: для автоматизации и управления нестационарными объектами и технологическими процессами необходимо развивать теоретические основы и технологии построения систем управления сложными объектами с критическими режимами, что требует разработки соответствующей методологии управления указанными объектами, а также прикладных моделей и методов реализации таких систем.

Таким образом, тему диссертационного исследования следует признать актуальной.

### **Содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы из 458 наименований и приложения. Основная часть (без приложения) содержит 399 страниц основного текста, включая 174 рисунка и 18 таблиц. В приложении размещены 7 актов об использовании результатов диссертации, в том числе в учебном процессе.

Во введении обоснована актуальность работы, ее цель и задачи, представлены основные результаты работы, их научная новизна и практическая значимость.

В первой главе, которая имеет обзорно-постановочный характер, изложены этапы становления эволюционного подхода, проведена укрупненная классификация критических режимов сложных систем. Обосновывается целесообразность применения эволюционного подхода к управлению и автоматизации объектов с критическими режимами, а также необходимость разработки эволюционной методологии многоальтернативного управления.

Во второй главе на основе моделирования и анализа механизмов эволюции на различных уровнях организации жизни делается вывод о том, что в основе эволюционного поведения рассматриваемых систем лежит общая системообразующая стратегия – стратегия многоальтернативности. Этот вывод использован для формирования базового подхода для достижения цели работы: применение эволюционных принципов многоальтернативного функционирования живых систем для построения искусственных систем управления сложными объектами с критическими режимами.

В третьей главе разработан ряд моделей и алгоритмов многоальтернативного управления в детерминированных системах с критическими режимами (многорежимный процесс тепловлажностной обработки бетона, робастная система модального управления, модель управления системой электроснабжения космической станции и др.). Показано, что целенаправленное применение принципов этого управления позволяет добиться улучшения показателей качества систем сравнительно простыми техническими решениями.

В четвёртой главе предложены модели и методы многоальтернативного управления в стохастических и хаотических системах с критическими режимами (обобщённая модель стохастической марковской системы замкнутого цикла с восстановлением ресурсов, хаотическая система связи и система теплообмена). Продемонстрировано возникновение в таких системах свойства технического гомеостаза.

В пятой главе рассмотрены модели и методы многоальтернативного управления в системах с существенной неопределённостью, вызванной недостаточностью информации о структуре и параметрах объекта управления. На основе принципов многоальтернативности разработаны система нечёткого управления структурно неустойчивым объектом, описываемым моделью перевёрнутого маятника, а также гомеостатическая система многомерного нечёткого управления процессом противоточного теплообмена.

В шестой главе раскрыта методологическая взаимосвязь синергетических и многоальтернативных принципов управления, и осуществлён синтез синергетических систем многоальтернативного управления на примерах мобильного самобалансирующегося робота, беспилотного летательного аппарата и системы перемещения подвешенного груза со слабо демпфированными колебаниями.

В седьмой главе рассмотрены модели и методы многоальтернативности в интеллектуальных системах управления и принятия решений: активная нейросетевая модель управления распределённой энергосистемой, а также эволюционная модель с матричной репликацией, рекомендуемая для решения комбинаторных задач с изолированным расположением глобального экстремума.

В восьмой главе осуществлено обобщение изложенных в предыдущих главах результатов работы и построение на их основе эволюционной методологии построения систем многоальтернативного управления сложными объектами, обеспечивающей повышение надёжности и качества функционирования этих объектов в критических режимах. Дано теоретическое основание методологии, её характеристики, логическая структура, взаимосвязь с основными принципами кибернетики. Подробно излагается оценка результативности разработанной методологии на различных примерах систем многоальтернативного управления.

В заключении дается краткий обзор достигнутых в работе результатов.

Автореферат корректно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

### **Соответствие паспорту специальности**

Работа соответствует научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» по следующим пунктам паспорта:

п.3. Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.

п.4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами.

п.5. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами.

п.6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.

п.8. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников.

п.14. Теоретические основы и прикладные методы резервирования контуров управления, повышения эффективности, надежности и живучести АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации.

### **Основные научные результаты, их новизна**

1. Предложены новые математические модели эволюционных процессов биологических систем с учетом кризисных – критических – периодов эволюции, раскрывающие, в отличие от известных моделей, влияние на эти процессы механизмов многоальтернативности их строения и функционирования, которые обеспечивают живым системам устойчивое существование и развитие в изменяющихся условиях внешней среды.

2. Раскрыто конструктивное содержание принципов многоальтернативного управления сложными системами, впервые определяющее степень общности этих принципов и позволяющее включить их в перечень базовых принципов кибернетики.

3. Предложена методология построения систем управления сложными техническими объектами с критическими режимами, основанная, в отличие от известных, на направленном воспроизведении в этих системах эволюционных свойств живых систем, определяющих способность последних успешно преодолевать кризисные периоды своего развития.

4. Разработаны новые модели и методы реализации эволюционных принципов многоальтернативности в системах управления объектами с критическими режимами с различной степенью неопределенности: детерминированными, стохастическими, хаотическими и с существенно неопределенными параметрами и отношениями между переменными. Отличие этих моделей и методов заключается в использовании в своей основе разработанной в диссертации эволюционной методологии построения систем управления, в результате чего достигается улучшение показателей качества этих систем.

5. Разработаны модели и методы реализации принципов многоальтернативности при построении синергетических систем управления объектами с критическими режимами, отличающиеся тем, что эти модели и методы обеспечивают указанное свойство синергетичности в результате связанного регулирования, основанного на принципах многоуровневой передачи управления и блочного строения регулятора сообразно с собственным движением объекта.

6. Предложены системы интеллектуальной поддержки принятия решений в системах управления с критическими режимами, использующие, в отличие от известных, активные нейросетевые модели с перестраиваемой структурой, которые позволяют исключить эффект переобучения в системе и улучшить ее обобщающие свойства.

7. Разработаны модель и метод принятия решений в задачах управления с комбинаторной неопределенностью, отличающиеся использованием в своей основе эволюционного механизма матричной репликации, обеспечивающего

повышение вероятности нахождения глобального экстремума в задачах управления комбинаторного типа.

### **Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгостью применяемого математического аппарата, подтверждается результатами компьютерного моделирования, анализа и синтеза систем управления для объектов различной физической природы с критическими режимами (структурно неустойчивых, многорежимных и динамически неопределённых объектов, объектов с нестационарными параметрами, систем принятия решений в задачах высокой размерности комбинаторного типа), а также практическим внедрением результатов работы на ряде промышленных предприятий и в учебном процессе.

### **Значимость полученных результатов**

**Теоретическая значимость** работы определяется следующими научными результатами.

1. Разработана научно обоснованная методология построения систем управления сложными объектами, обеспечивающая повышение надежности и качества функционирования этих объектов в критических режимах, и построенная, в отличие от известных, на направленном воспроизведении в этих системах эволюционных свойств живых систем, определяющих способность последних успешно преодолевать кризисные периоды своего развития.

2. Разработаны модели эволюции ряда биологических объектов – от макромолекул до экосистем, с учетом кризисных – критических – периодов эволюции, раскрывающие, в отличие от известных моделей, влияние на эти процессы механизмов многоальтернативности строения и функционирования, которые составляют общую эволюционную стратегию биологических систем, обеспечивающую их устойчивое существование и развитие. Воспроизведение этой стратегии в искусственных системах открывает новые возможности в

управлении наиболее ответственными, критическими режимами функционирования сложных объектов высокой размерности.

3. Раскрыто кибернетическое содержание принципов эволюционной концепции многоальтернативности сложных систем любой природы:

– принцип многоуровневости и иерархии строения и функционирования, предусматривающий передачу управления от одного уровня к другому по мере исчерпания энергетических возможностей каждого из них и обеспечивающий, тем самым, возникновение в сложных системах свойства гомеостаза;

– принцип многообразия и разделения функций подсистем, позволяющий реализовать декомпозицию системы по функциональному признаку, добиться автономности и упрощения каждой подсистемы, и обеспечить, в итоге, высокую надежность, а также способность системы в критических ситуациях выполнять свои функции в ограниченном объеме, т.е. обеспечить свойство живучести;

– принцип модульности, порождающий комбинаторное многообразие вариантов построения и возможных режимов работы системы при ограниченном количестве отличающихся типовых модулей. Реализация этого принципа в сложной системе предотвращает, в частности возникновение каскадного нарастания аварийных ситуаций в критических режимах функционирования многомодульной системы.

Впервые определена степень общности этих принципов с базовыми принципами кибернетики.

4. Разработана общая структура систем многоальтернативного управления сложными объектами с критическими режимами различной физической природы, построенная, в отличие от известных, на основе проведения биологических аналогий с процессами функционирования и строения живых систем, сформулированными в виде эволюционной концепции многоальтернативности.

**Практическая значимость** результатов работы заключается в том, что они вносят вклад в решение важной научно-технической проблемы



автоматизации и построения систем управления сложными объектами с критическими режимами функционирования благодаря разработанным конкретным моделям, методам и принципам реализации. Их реализация позволяет повысить надёжность и качество их функционирования в критических режимах, приближая их в этом отношении к свойству гомеостаза живых систем.

Результаты работы использованы: при разработке и отладке системы электроснабжения научно-энергетического модуля Международной космической станции, а также систем электроснабжения перспективных космических аппаратов (АО «Орбита» (г. Воронеж)), для построения диверсных систем защиты и предотвращения аварийных ситуаций на Нововоронежской атомной станции, для оценки влияния на надёжность работы автоматизированной системы радиоконтроля при интеграции новых компонентов (ОСП АО «ИРКОС» (г. Воронеж)), при разработке подсистем диспетчерского контроля электрической сети Россети центр Воронежэнерго (ООО «Новые информационные системы 21»), в технологическом процессе тепловлажностной обработки бетонных изделий (ООО «СТК Бетон» (г. Воронеж)), при разработке прямохаотических систем широкополосной связи с защищенными каналами (АО ВЦКБ «Полус» (г. Воронеж)).

### **Публикации и апробация работы**

Основные научные результаты диссертации в полной мере представлены в рецензируемых научных изданиях. По теме диссертации опубликовано 98 научных работ, в том числе: 35 статей в научных изданиях, отнесенных к категориям К-1 и К-2 из Перечня рецензируемых научных изданий; 26 – в научных изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, одна монография.

Основные результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на международных и российских научно-практических конференциях. Все результаты диссертационной работы получены Васильевым Е.М. лично.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов работы**

Результаты и выводы, приведенные в диссертации, в том числе:

– эволюционная методология построения систем многоальтернативного управления сложными объектами с критическими режимами;

– конструктивные принципы этой методологии, обеспечивающие многоальтернативность строения и функционирования этих систем;

– общая структура системы многоальтернативного управления и конкретные модели и методы реализации этого управления в системах различной физической природы,

рекомендуется использовать при проектировании сложных систем критического назначения: объектов энергетического комплекса, процессов химического производства, многорежимных автономных космических, воздушных и подводных аппаратов, мехатронных устройств, в системах принятия решений комбинаторного типа, а также для подготовки специалистов по управлению сложными системами, в частности, в учебных дисциплинах по теории и методам автоматического управления.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертации связаны с расширением класса объектов, для которых могут быть найдены законы стабилизирующего многоальтернативного управления, а также с применением идей эволюционного подхода в управлении крупномасштабными развивающимися системами.

### **Замечания**

1. Заявленный автором эволюционный подход к построению систем управления сложными объектами, судя по тексту работы, ассоциируется с прогрессивной эволюцией – движением от простого к сложному. Современные представления об эволюции включают в нее и регрессивные процессы, приводящие к упрощению и очень узкой специализации видов. В работе не показано, охватывает ли предложенный подход механизмы такого упрощения.

2. В работе следовало бы более четко сформулировать отличия принципов многоальтернативности строения и функционирования сложных систем от упоминаемых в самой же диссертации известных приемов декомпозиции и многоконтурности в системах управления.

3. В диссертации есть разделы (3.2.1 – об адаптивных наблюдателях со скользящим движением, 4.3.1 – об идентификации критических режимов в хаотических системах), содержание которых относится к теме диссертации, но не включено в перечень защищаемых положений. Следует уточнить, какие содержательные аспекты указанных разделов повлияли на исследование и изложения новых научных результатов.

4. Представленные в разделе 4.1 модель гомеостата со случайным управлением и результаты ее исследования, демонстрирующие свойство ультрастабильности многоальтернативного управления, имеют важное методологическое значение, однако не вынесены автором в число защищаемых положений. Следует пояснить степень научной новизны данной модели.

5. При решении задачи управления самобалансирующимся роботом в разделе 6.2 было бы полезным не только сослаться на известные работы, но и кратко изложить полученные решения.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Васильева Евгения Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, которая вносит существенный вклад в решение важной научно-технической проблемы развития теоретических основ автоматизации и управления сложными технологическими процессами и объектами с критическими режимами функционирования. Диссертация обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в решение крупной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение.

Она соответствует всем предъявляемым требованиям к докторским диссертациям согласно Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением №842 Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г., а ее автор, Васильев Евгений Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании расширенного семинара лабораторий №№ 1, 16, 37, 57, 80, 81 от 18 января 2024 г., протокол №1.

Руководитель семинара,  
ведущий научный сотрудник ИПУ РАН,  
и.о. заведующего лабораторий № 37  
«Систем с разрывными управлениями»  
доктор технических наук

Уткин Антон Викторович

Адрес:

117997, ГСП-7, г. Москва, Профсоюзная, д. 65

Федеральное государственное бюджетное учреждение

науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук (ИПУ РАН)

Телефон: +7 (495) 334-89-10

Сайт: [www.ipu.ru](http://www.ipu.ru)

E-mail: [dan@ipu.ru](mailto:dan@ipu.ru)

Подпись

Уткин  
ЗАВЕР

ВЕД. ИНЖЕНЕР  
ГОРДЕЕВА Ю. Ю.

