

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Комарова Владимира Александровича «Автоматизированные системы экспериментальных исследований с временным разделением аппаратно-программных ресурсов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

### Актуальность выбранной темы исследования

В настоящее время основной тенденцией развития промышленности является внедрение средств вычислительной техники и реализация соответствующих изделий в виде специализированных аппаратно-программных комплексов и систем (программно-определяемая радиосистема, система на кристалле, виртуальный прибор, программно-определяемая сеть и др.). Эффект, возникший в результате комбинирования и интеграции радиоэлектронных устройств, комплексов и систем различного функционального назначения, реализованных на основе данных подходов, является катализатором развития цифровых технологий (например, таких как Интернет вещей, интеллектуальные датчики, облачные сервисы и пр.), лежащих в основе цифровой трансформации различных сфер человеческой деятельности. В качестве одной из технологий, которые основаны на синергетическом эффекте при интеграции ряда современных достижений научно-технического прогресса и направлены на решение проблемы ресурсного обеспечения прикладных экспериментальных исследований в рамках процессов интенсификации производств (в промышленности и отраслевой системе подготовки кадров), является технология эксплуатации ресурсов автоматизированных систем (программных средств, средств вычислительной и измерительной техники, исполнительных устройств и механизмов и пр.) на основе концепции мультиарендности. Данная технология в области автоматизации прикладных экспериментальных исследований (промышленный, научный и учебный эксперименты) реализуется посредством создания многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем (далее – МРИУС), которые обеспечивают одновременное обслуживание нескольких абонентов (групп пользователей (в том числе и удаленных) или процессов обработки данных) в интерактивном диалоговом режиме посредством использования одного аппаратно-программного ресурса в режиме временного разделения. Применение такой технологии повышает технические и эксплуатационные характеристики эксплуатируемых узлов, приборов, устройств и систем в целом. Таким образом, **актуальность диссертационной работы Комарова Владимира Александровича не вызывает сомнений.**



## **Общая методология и методика исследования**

Автором диссертационной работы на основе изучения литературных источников проведен анализ применяемых подходов обеспечения коллективного использования аппаратных, программных и других ресурсов на основе метода разделения времени, определены цели и задачи, предмет и объект исследования. Разработан обобщенный критерий оценки технического уровня МРИУС, характеризующий эффективность организации режима коллективного пользования единичными экземплярами оборудования (разделяемыми ресурсами), выделены направления совершенствования МРИУС. Разработаны и реализованы в виде адаптируемых программных модулей базовые аналитические модели и дополненная базовая имитационная модель динамики функционирования МРИУС, как системы массового обслуживания, учитывающая структуру аппаратного построения, длительности функциональных операций управления и измерения, их зависимость от параметрического и функционального содержаний выполняемых заданий, задержку прохождения заданий по сети, вариативность реализуемых алгоритмов диспетчеризации, а также гетерогенность размышления и обслуживания пользователей. Разработаны методы повышения оперативности функционирования МРИУС (метод оптимизации операций управления, метод временного разделения многократных измерений, метод распараллеливания функциональных операций) и алгоритмы диспетчеризации разделяемого ресурса, их реализующие. Проведены экспериментальная проверка и апробация предложенных методов, моделей, методик, алгоритмов и решений, подтвердившие адекватность применяемых математических моделей, эффективность использования разработанных методов, методик, алгоритмов и программного обеспечения в процессе разработки и эксплуатации образцов МРИУС.

## **Внутреннее единство структуры работы**

Основной текст диссертационной работы изложен на 364 страницах, иллюстрируется 100 рисунками, 11 таблицами. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка условных обозначений, библиографического списка из 451 наименования и приложений.

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, определены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Формулируются достоверность полученных результатов, апробация, реализация и внедрение результатов исследования.

**В первой главе** производится обзор и анализ применяемых подходов обеспечения коллективного использования аппаратных, программных и других ресурсов на основе метода разделения времени. Сформулированы



основные предпосылки, обусловившие широкое прикладное применение метода разделения времени в различных сферах деятельности. Исследованы основные направления применения метода разделения времени в ряде прикладных областей. Для рассмотренных областей систематизированы основные отличительные особенности его практической реализации на основе признаков «уровень структурной иерархии» и «реализуемый режим временного разделения». Исследованы основные подходы прикладного применения временного разделения в автоматизированных системах экспериментальных исследований. Сформулировано и введено определение многопользовательской распределенной измерительно-управляющей системы, которое конкретизирует специфику процесса ее функционирования, как автоматизированной системы экспериментальных исследований и системы массового обслуживания при выполнении индивидуальных конфигурационных и измерительных заданий нескольких пользователей на основе одного разделяемого аппаратно-программного ресурса. Проведены исследования функциональных ограничений построения МРИУС на основе теоремы Литтла для соответствующего класса систем массового обслуживания. Определены общие аналитические выражения для допустимого числа одновременно работающих терминалов пользователей, задания от которых могут быть выполнены на рассматриваемом временном интервале функционирования с точки зрения обеспечения минимальной результативности по их числу. Проведенный анализ основных известных подходов к нормированию времени ответа на запросы пользователей в многопользовательских вычислительных системах с разделением времени показал отсутствие единых общих нормативных требований к их оперативности функционирования, но при этом выявил общую тенденцию попыток связи нормативных оценок с характером выполняемых работ или решаемых задач на их основе. В конце главы автор приводит цель работы и задачи, решаемые в процессе диссертационного исследования.

**Во второй главе** автором рассматриваются основные принципы и определения, положенные в основу разработки методологии проектирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем. В процессе разработки методологии проектирования реализован подход целенаправленного поиска облика проектного решения МРИУС на сформированном множестве альтернативных вариантов в соответствии с заданной целевой функцией – показателем технического уровня. При формализации описания проектного решения МРИУС использован теоретико-множественный подход. Главным результатом главы является то, что автором была предложена информационная модель проектного решения МРИУС, отличающаяся от известных тем, что ее состав учитывает выделенную двойственную специфику функционирования МРИУС. Формализована и представлена в виде схемы взаимосвязь предложенных компонентов проектного решения и математической модели динамики функционирования МРИУС, как системы массового обслуживания. Автором была разработана



предметно-ориентированная методология проектирования МРИУС, отличительной особенностью которой от известных является ее фокусировка на специфике МРИУС, характеризуемой выполнением в интерактивном диалоговом режиме индивидуальных конфигурационных и измерительных заданий нескольких пользователей на основе разделяемых аппаратно-программных ресурсов. В соответствии с этим в состав предложенной методологии вошли, как ранее известные, так и новые методы повышения оперативности функционирования МРИУС, новые модели, новые методики, новые алгоритмы, а также комплекс технических решений, которые в целом направлены на повышение технического уровня синтезируемых проектных решений МРИУС.

**В третьей главе** на основе исследования, анализа, обобщения и систематизации существующего опыта создания МРИУС предложена классификация применяемых структур их аппаратного построения, учитывающая количество и номенклатуру входящих в состав объектов управления и контроля, а также применение внутреннего разделения каналов. Разработан набор базовых структур аппаратного построения МРИУС, для каждой из выделенных структур рассмотрены ее функциональные особенности. Предложенный набор вошел в состав разработанной методологии в качестве вариантов технических решений для задачи структурного синтеза аппаратного обеспечения. Критерии выбора соответствующей базовой структуры представлены в виде укрупнённого дерева принятия решений. Разработаны и реализованы в виде адаптируемых программных модулей математические модели динамики функционирования МРИУС, как системы массового обслуживания. Разработана базовая имитационная модель, которая представлена ее обобщенной структурной схемой, блок-схемой алгоритма моделирования. Предложенная имитационная модель характеризуется дополнительными исследовательскими возможностями и отличается от известных тем, что дополнительно учитывает структуру аппаратного построения, длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами, и их зависимость от параметрического и функционального содержания выполняемых заданий, задержку прохождения заданий по сети, вариативность реализуемых алгоритмов диспетчеризации, а также гетерогенность поведения и обслуживания пользователей. Разработано методическое обеспечение для ряда этапов процесса разработки МРИУС: методика проектирования аппаратно-программного обеспечения, методика оценки параметров сценария диалога, методика формирования граничных значений параметров сценария диалога, методика оценки технических характеристик и методика расчета функций параметрической чувствительности для параметров оперативности функционирования. Данные частные методики, представленные блок-схемами их алгоритмов, обобщают и систематизируют применяемые при разработке МРИУС подходы, ориентированы на выделенную специфику процесса их функционирования.



**В четвертой главе** автором предложен метод сбора и накопления апостериорной информации о соответствии длительностей выполняемых функциональных операций значениям параметров конфигурации и измерения для формируемых пользователями заданий. Метод реализуется в процессе эксплуатации МРИУС по ее целевому назначению на основе разработанного дополнительного программного модуля. Применение данного подхода целесообразно в МРИУС, для которых в рамках методики оценки параметров реализуемого сценария диалога выявление полного объема соответствующих данных на этапе разработки их проектных решений технически затруднено и/или нецелесообразно. Автором разработан ряд методов повышения оперативности функционирования МРИУС (метод оптимизации операций управления, метод временного разделения многократных измерений, метод распараллеливания функциональных операций), которые отличаются от известных тем, что основаны на особенностях работы их разделяемых ресурсов как АСЭИ. Автор показывает, что данные методы позволяют увеличить число обслуживаемых терминалов пользователей на величину до 30 % и более посредством управления доступом к разделяемому ресурсу в соответствии выделенными особенностями аппаратного построения и/или выполняемых заданий в МРИУС. Сформулирован в общем виде критерий оценки целесообразности реализации комплекса целевых мероприятий повышения технического уровня МРИУС с точки зрения затрат на их выполнение. Показано, что для предложенных методов при материальных затратах на модификацию алгоритма диспетчеризации, пренебрежительно малыми по сравнению в целом с затратами на МРИУС, их эффективность в пределе стремится к значению обеспечиваемого ими относительного приращения числа одновременно обслуживаемых терминалов пользователей.

**Пятая глава** посвящена разработке решений ряда проектных задач алгоритмического обеспечения процессов разработки и эксплуатации МРИУС. На основе методов цифровой спектрально-весовой обработки сигналов автором разработано базовое измерительное обеспечение МРИУС, которое представлено алгоритмами спектрального измерения параметров сигналов, измерительными подпрограммами, исследовательским аппаратно-программным комплексом, комплексом базовых унифицированных виртуальных приборов. Предложенный комплекс реализует решения по выполнению измерений в диалоговом режиме и решает задачи унификации подходов и сокращения сроков разработки компонентов аппаратно-программного обеспечения МРИУС для ряда областей их применения. Разработанный исследовательский аппаратно-программный комплекс спектрально-весового измерения параметров сигналов решает задачи оценки погрешности и длительностей функциональных операций измерения, выполняемых на основе рассмотренных алгоритмов и применяемого аппаратного обеспечения. Для разработанного и созданного комплекса



базовых унифицированных виртуальных приборов автором предложена методика их модификации в соответствии с решаемыми измерительными задачами, которая применяется на этапе проектирования аппаратно-программного обеспечения МРИУС.

**Шестая глава** посвящена результатам испытаний и внедрению разработанных отдельных компонентов методологии и методологии в целом в процессе разработки и на этапе эксплуатации промышленных и опытных образцов МРИУС в области автоматизации испытаний, научного и учебного эксперимента, а также рассмотрению результатов проведенных экспериментальных исследований отдельных компонентов методологии. Внедрение компонентов предложенной методологии проектирования в процессе разработки образцов МРИУС в области автоматизации прикладных экспериментальных исследований изделий ракетно-космической техники и их составных частей показало, что применение разработанных образцов МРИУС обеспечивает сокращение материально-технических и временных затрат на проведение и оснащение процессов экспериментальных исследований. На основе предложенных в рамках диссертационных исследований методов, моделей, методик, алгоритмов, программного обеспечения разработан и создан ряд промышленных образцов МРИУС автоматизации научных и учебных экспериментальных исследований с улучшенными в среднем на 20–30 % и более показателями технического уровня относительно применяемых ранее аналогов и прототипов. Проведены экспериментальные исследования динамики функционирования ряда промышленных образцов МРИУС как средство массового обслуживания в процессе их опытной и промышленной эксплуатации. Результаты математического моделирования на основе предложенных математических моделей с приемлемой для инженерных расчетов точностью согласуются с полученными результатами экспериментальных исследований.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы по работе.

**В приложениях** приведены описание аппаратно-программных комплексов с удаленным доступом, результаты внедрения диссертационных исследований в промышленность, охранно-правовые документы на результаты интеллектуальной деятельности.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Основные научные выводы и положения подтверждаются теоретическим анализом, результатами экспериментальных исследований и результатами моделирования на ЭВМ. Научные положения аргументированы. Выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями, их воспроизводимостью и результатами математической обработки с использованием сертифицированных программ, а также обсуждением



результатов диссертации на международных и всероссийских конференциях, научных семинарах и выставках.

### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Предложен обобщенный критерий оценки технического уровня проектного решения МРИУС, характеризующий уровень технического совершенства разработанного образца по отношению к существующим его аналогам и прототипам в части обеспечения одновременной работы нескольких терминалов пользователей с одним экземпляром специализированного оборудования.
2. Разработана базовая имитационная модель динамики функционирования МРИУС, как системы массового обслуживания в процессе выполнения конфигурационных и измерительных заданий пользователей, характеризующаяся дополнительными исследовательскими возможностями отличающаяся от известных тем, что дополнительно учитывает структуру аппаратного построения, длительности операций, выполняемых основными функциональными узлами, и их зависимость от параметрического и функционального содержания выполняемых заданий, задержку прохождения заданий по сети, вариативность реализуемых алгоритмов диспетчеризации, а также гетерогенность поведения и обслуживания пользователей.
3. Разработаны методы повышения оперативности функционирования МРИУС (метод оптимизации операций управления, метод временного разделения многократных измерений, метод распараллеливания функциональных операций), которые основаны на организации процесса диспетчеризации заданий в соответствии с исследованными особенностями работы разделяемых ресурсов как автоматизированных систем экспериментальных исследований.
4. Разработана новая методика проектирования МРИУС с улучшенными техническими характеристиками, отличающаяся тем, что объединяет в своем составе подходы разработки их аппаратных и программных компонентов с точки зрения функционирования как автоматизированных систем экспериментальных исследований, так и систем массового обслуживания, реализует аккумулирование и возможность применения положительного опыта предыдущих разработок на основе итерационно формируемой и актуализируемой базы данных инженерных решений.
5. Впервые разработана и апробирована новая методика адаптации МРИУС, заключающаяся в целевой модификации их отдельных компонентов аппаратно-программного обеспечения, методического и организационного обеспечения их эксплуатации на основе созданной подпрограммы регистрации и накопления статистических данных о функционировании МРИУС как систем массового обслуживания.



## **Значение выводов и рекомендаций для науки и практики**

Разработано методическое обеспечение для ряда этапов процесса разработки МРИУС: методика проектирования аппаратно-программного обеспечения, методика оценки параметров сценария диалога, методика формирования граничных значений параметров сценария диалога, методика оценки технических характеристик и методика расчета функций параметрической чувствительности для параметров оперативности функционирования. Данные частные методики, представленные блок-схемами их алгоритмов, обобщают и систематизируют применяемые при разработке МРИУС подходы, ориентированы на выделенную специфику процесса их функционирования.

## **Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ**

По результатам диссертационного исследования опубликованы 48 печатных работ, в том числе 18 публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 публикаций в изданиях, из перечня ВАК и индексируемых в международных наукометрических базах Web of Science и Scopus, одна монография, получено 7 патентов на изобретения РФ, 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Содержание опубликованного материала соответствует направлению научных исследований, изложенному в тексте диссертационной работы.

## **Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности**

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

п.2 Автоматизация контроля и испытаний.

п.9 Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСПШ и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации.

п.20 Разработка автоматизированных систем научных исследований.

### **Замечания по работе:**

1. Цель работы сформулирована не корректно. Автор пишет, что целью его исследований является «...усовершенствовании научных основ создания МРИУС автоматизации...». Однако само усовершенствование тоже производится с какой-то целью. В данном случае этой целью, возможно,



является повышение производительности научных исследований, сокращение материально-технических и временных затрат, расширение функциональных возможностей, снижение массогабаритных и энергетических характеристик комплексов и систем.

2. Не все положения научной новизны, сформулированные автором, соответствуют критерию **«научная новизна»**. Например, п.4 «Разработан комплекс решений ряда проектных задач...», а также п. 7 «На основе отдельных компонентов методологии и методологии в целом создан и внедрен ряд новых опытных и промышленных образцов МРИУС в области автоматизации...» являются инженерными решениями и их следует отнести к разделу **практическая значимость**.
3. В главе 6 автор описывает «результаты апробации компонентов предложенной в диссертации методологии в процессе разработки опытных образцов МРИУС». Под апробацией автор понимает, очевидно, доказательство достоверности проводимых им исследований их верфикацию. Следует отметить, что апробация – это обсуждение полученных научных результатов на научных конференциях и семинарах.
4. По тексту диссертационной работы отсутствует явная связь в описании технологического процесса производства радиоэлектронной аппаратуры и объекта диссертационного исследования автора – «многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы автоматизации экспериментальных исследований».
5. В основных результатах работы автор пишет, что им «Решена научно-техническая проблема рационального использования технических ресурсов в процессе интенсификации производства в ракетно-космической промышленности и отраслевой системе подготовки кадров, имеющая важное народнохозяйственное значение». Но система подготовки кадров не является предметом рассмотрения положений паспорта специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность). Поэтому, включение ее решения в основные результаты неуместно.

**В целом приведенные замечания не снижают ценность полученных результатов и общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.**

### **Заключение по работе:**

Диссертационная работа Комарова Владимира Александровича «Автоматизированные системы экспериментальных исследований с временным разделением аппаратно-программных ресурсов» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой изложены новые научно-технические и технологические решения в области рационального использования



технических ресурсов в процессе интенсификации производства изделий радиоэлектроники в ракетно-космической промышленности, внедрение которых обеспечивает повышение производительности труда в научной и производственной деятельности и вносит значительный вклад в развитие страны. Работа обладает актуальностью, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, результаты и выводы обоснованы и достоверны. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. Результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.3. Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Комаров Владимир Александрович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

ФГБОУ ВО «Сибирский  
государственный университет науки  
и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнёва»,  
г. Красноярск  
660014, г. Красноярск, пр. им. газеты  
«Красноярский рабочий», 31  
тел.: (391) 291-92-40  
E-mail: ius\_murygin@sibsau.ru

заведующий кафедрой  
«Информационно-управляющих  
систем»  
доктор технических наук, профессор

*30.09.2021*

Александр Владимирович  
Мурыгин

Подпись А.В. Мурыгина заверяю  
Ученый секретарь ученого совета  
СибГУ им. М.Ф. Решетнёва



А. Е. Гончаров