

На правах рукописи



Морозов Сергей Александрович

**Метод оценки и средства улучшения качества  
программно-аппаратных комплексов центров хранения  
и обработки данных**

Специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена на кафедре инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

- Научный руководитель: **Ивакин Ян Альбертович**  
доктор технических наук, профессор
- Официальные оппоненты: **Филиппов Павел Васильевич**  
доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского института стандартизации и сертификации «Лот» ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
- Дмитриев Павел Игоревич**  
кандидат технических наук, руководитель технической группы ООО «ОпенВэй Сервис»
- Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Защита состоится «22» июня 2018 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «4» мая 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.233.04  
кандидат технических наук, доцент



Фролова Е.А.

## **I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** Широкое внедрение информационных технологий во все сферы жизни современного общества, возникшая необходимость обрабатывать в реальном масштабе времени и хранить значительные объемы цифровой информации привели к созданию сетей государственных и корпоративных центров хранения, и обработки данных (они же ЦХОДы, ЦОДы, Data-центры) как во всем мире, таки во всех регионах России. Главная цель их создания – обеспечение цифровой информатизации и непрерывного доступа в Internet органов государственного и корпоративного управления, а так же коммерческих потребителей. Указанные центры доказали свою жизнеспособность, они значительно повысили эффективность всей инфраструктуры цифровой информатизации, обеспечив высокоуровневую интеграцию телекоммуникационных и софтверных услуг для широких слоев субъектов бизнеса, государственного строительства и населения страны. Базовой функциональной платформой любого из Data-центров является соответствующий программно-аппаратный комплекс (ПАК) для предоставления услуг по предоставлению ресурсов для размещения информации на сервере, постоянно находящемся в сети (Далее – Хостинга) органам государственного и корпоративного управления, а так же коммерческим потребителям. Именно качество аппаратных, программных и информационных изделий, входящих в такой комплекс, их согласованная стыковка и взаимосвязанное включение, определяют итоговое качество хостинг-услуг предоставляемых потребителям. Постоянно нарастающие требования к объему и качеству IT-услуг, развитие мировой тенденции в области накопления и обработки цифровых данных, известное как проблематика больших данных (Big Data), объективно требуют непрерывного развития количественных и качественных возможностей сетей Data-центров. Это, в свою очередь, диктует необходимость улучшения качества ПАК, как ключевого компонента указанных центров.

Однако, недостаточная разработанность научно-методического инструментария оценки и улучшения качества ПАК для Data-центров приводит к эмпирическому характеру проектирования и формирования таких программно-аппаратных комплексов, предопределяемому текущей практикой создания и совершенствования технических средств для предоставления услуг хостинга. Это приводит к низкой эффективности процессов проектирования и модернизации указанных ПАК, недостаточности текущих возможностей информационно-телекоммуникационной инфраструктуры доступного хостинга, торможению внедрения новых высокоэффективных технологий в практику обработки больших данных (Например, технологий облачных вычислений).

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в комплексном научно-методическом инструментарии оценки и улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных (Data-Центров) и недостаточным уровнем развития этого инструментария в настоящий момент.

**Степень разработанности темы** исследования, направленного на развитие специализированных методов квалиметрической оценки и средств улучшения ПАК для Data-центров, характеризуется научной междисциплинарностью и определяется результатами научных работ ученых различных направлений. Методологической основой для разработки диссертации явились результаты следующих исследований:

– инновационный подход современной квалиметрии к интегральным системным показателям качества, раскрытый в работах Э.П.Райхмана, А. В.Гличева, В.П. Панова, А.Г.Варжапетяна, Е.Г.Семеновой, В.М.Балашова, Д.Коудена, Х.Й.Миттага, Х.Ринне, Н.Н.Рожкова, В.К.Федюкина и др. На основе данного подхода в диссертации произведена предметная интерпретация и конкретизация моделей оценки и улучшения качества применительно к ПАК для Data-центров;

– направление совершенствования логико-математических и алгоритмических моделей оценки качества программно-аппаратных комплексов и систем, разработанных в научных исследованиях М.Джилба, Б.Боэма, Т.Саати, К.Кернса, В.В.Липаева, Н.В.Хованова, Р.А.Червинского, Я.А.Ивакина, Р.М.Юсупова, Б.В.Соколова, А.Л.Ронжина, Г.И.Коршунова, С.В.Мичурина и др. Базовые методы и принципы этого направления дали возможность обосновать унифицированно-стандартизованную меру оценки качества ПАК Data-центров;

– объектно-ориентированный подход к проектированию и разработке программного обеспечения (ПО) для высоко сложных программных комплексов, предложенный в работах Г.Буча, Б.Я.Советова, В.Ю.Осипова, В.В.Поповича, Я.А.Ивакина, С.Н.Потапычева, А.Н.Прокаева, Ю.Б.Леонтьева и др. На основе такого подхода созданы и апробированы научно-методические средства, которые позволили рассмотреть процесс разработки прикладного ПО для ПАК Data-центров как последовательность итераций оценки и улучшения его качества.

**Целью работы:** улучшение качества и обеспечение системного развития программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных (Data-Центров) путем учета логико-структурной вложенности показателей качества, а так же систематизации требований и корректного использования в ходе их совершенствования методов системного проектирования.

**Объект исследования** – качество программно-аппаратных комплексов (ПАК) центров обработки и хранения данных.

**Предмет исследования** - оценка и улучшение качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных.

**Задачи исследования.** В ходе работы решены задачи:

1. Анализ предметной области разработки, создания ПАК для Data-центров и синтез метода оценки качества таких программно-аппаратных комплексов;
2. Формирование и обобщение базисной совокупности требований к формированию ПАК Data-центров, как методологической основы для введения стандартов организаций-создателей таких комплексов;
3. Обоснованная разработка модели повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала, как интегральной схемы совершенствования услуг, предоставляемых Data-центрами;
4. Выработка методики определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных, позволяющей определять направления улучшения качества ПАК Data-центров.

**Методы исследований.** Для осуществления поставленных в работе задач автором использовались методы объектно-ориентированного подхода к разработке ПО, менеджмента качества, экспертно-статистического оценивания, исследования операций и математического метода

районирования, методы синтеза интегральных показателей, а так же методы квалиметрии сложных программно-аппаратных комплексов.

**Тематика работы** соответствует областям исследования: 1. «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов»; 3. «Методы менеджмента качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла»; 5. «Методы стандартизации и управления качеством в CALS-технологиях и автоматизированных производственных системах»; 9. «Научные основы автоматизированных комплексных систем управления эффективностью производства и качеством работ» паспорта специальности **05.02.23** – «Стандартизация и управление качеством продукции».

**Основные положения, выносимые на защиту (научные результаты):**

1. Метод оценки качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных (Data-центров);
2. Базисная совокупность требований к формированию программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных;
3. Модель повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала;
4. Методика определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Метод оценки качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных позволяет усовершенствовать существующий методический аппарат оценки ПАК Data-центров путем сведения в единую вложенную структуру всего множества показателей качества таких комплексов и получить рост в обоснованности решений по управлению качеством.
2. Базисная совокупность требований к формированию ПАК Data-центров дает возможность выйти на более высокий уровень типизации процедур построения указанных комплексов, путем более полного учета многофакторности процессов их проектирования, создания и эксплуатации.
3. Модель повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала дает возможность добиться роста результативности функционирования ПАК Data-центров, путем внедрения в их функционирование более совершенной схемы предоставления хостинг-услуг органам государственного и корпоративного управления, а так же коммерческим потребителям.
4. Методика определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных позволяет обеспечить корректную интерпретацию результатов оценки текущего качества ПАК Data-центров, за счет использования математического метода районирования.

**Обоснованность и достоверность.** Обоснованность научных результатов обусловлена анализом научных достижений предметной области, рассмотрением и обобщением в работе широкого круга альтернативных научных подходов. Достоверность научных результатов обеспечивается корректным применением апробированного в исследовательской практике научно-методического инструментария, подтверждается экспериментальными данными, а так же фактами внедрения результатов в компаниях-проектантах и эксплуатантах Data-центров.

**Практическая значимость.** Для научных результатов работы состоит в:

- оснащении процедур оценки качества ПАК Data-центров инструментарием корректного построения интегральных показателей их качества с взвешенной, иерархической структурой;
- обеспечении возможностей снижения итеративности в разработке проектов ПАК для Data-центров;
- предложении научного и методического аппарата, усовершенствующего процесс оценки и улучшения качества ПАК Data-центров;
- приоритетном применении в практике проектирования ПАК для Data-центров научно-методического инструментария, обеспечивающего рационализацию усилий проектантов;
- снижении трудозатрат на проектирование и создание ПАК Data-центров (среднего времени проектирования и отладки программного модуля реализации типовой прикладной функции хостинг-услуги на 18 -20%);
- снижении трудозатрат на сопровождение (среднего времени перекомпоновки и верификации ПО типовой архитектуры на 11-14%).

В ходе работы над диссертацией разработана библиотека базовых программных компонент для автоматизации оценки и улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных для предоставления хостинг-услуг органам государственного и корпоративного управления, а так же коммерческим потребителям.

Обоснован и предложен типовой стандарт «Оценка и процедуры улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных для предоставления хостинг-услуг потребителям», который определяет прикладные методики и мероприятия оценки, улучшения качества соответствующих ПАК, в ходе их проектирования и создания, а так же функционал реализаторов создания и эксплуатантов Data-центров. Стандарт прошел внедрение и утверждение на предприятии АО «СПИИРАН-НТБВТ» (г. Санкт-Петербург) в 2017 году.

**Личный вклад автора** заключается в непосредственной разработке метода оценки и научно-методических средств улучшения качества ПАК Data-центров, базисной совокупности требований к формированию указанных комплексов. Также самостоятельно автором предложены модель повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала и методика определения отклик-процедур улучшения качества ПАК Data-центров, стандарт «Оценка и процедуры улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных для предоставления хостинг-услуг потребителям» в качестве типового для ИТ-организаций. Все основные научные положения (результаты), выносимые на защиту, и выводы, представленные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Автор лично участвовал в апробации и публикации результатов исследования.

**Реализация работы.** Результаты полученные в диссертационной работе были апробированы и внедрены при проектировании и разработке проектов создания и развития ПАК центров обработки и хранения данных для предоставления хостинг-услуг органам государственного, корпоративного управления и коммерческим потребителям, что подтверждено соответствующим актом внедрения АО «СПИИРАН-НТБВТ» (г. Санкт-Петербург). Так же результаты внедрены в АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»; в ФГБУН Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН); в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Апробация.** Научные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 международных и 4 общероссийских научных и научно-практических конференциях, семинарах.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 работ, из них: 10 - без соавторов, в том числе 5 статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 109 наименований, и двух приложений. Основной текст диссертации представлен на 167 страницах, включая 17 таблиц и 33 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 205 страниц.

## **II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** посвящено обоснованию актуальности выбранной темы, формулировке цели, основных частных задач исследования. Показана научная новизна, практическая значимость выполненной работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В **Первой главе** представлен анализ предметной области с позиций требований к процессу разработки, внедрения и улучшения качества ПАК Data-центров.

Data-центр (аналогично - центр (хранения и) обработки данных) есть специально построенное или перепрофилированное сооружение для установки компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры, посредством которой реализуются услуги хостинга и предоставления непосредственного доступа клиентов в Internet. Data-центры в организационном, техническом и функциональном планах представляют собой сложные и структурно-декомпозируемые объекты современной глобальной IT-инфраструктуры общества, ориентированные на широкое и качественное предоставление услуг хостинга, удаленного хранения данных, а так же предоставления вычислительных ресурсов для органов государственного и корпоративного управления, различных юридических лиц-хозяйствующих субъектов (компаний, организаций и пр.), а так же массового потребителя этих услуг. В работе показано, что определяющей тенденцией в эволюции программно-аппаратных комплексов предоставления услуг хостинга, самих Data-центров и сетей интегрального обслуживания, создаваемых на их базе, является доминирующая концептуальная схема развития всей инфраструктуры цифровой экономики как в России, так и в мире, известная как Big Data.

Информационно-потребительские возможности Data-центров и перспективность их широкого использования для нужд органов государственного и корпоративного управления, рядовых потребителей услуг хостинга определяется качеством соответствующего программно-аппаратного комплекса (ПАК). Стремительность изменения требований к IT-инфраструктуре массового хранения и обработке цифровых данных, неуклонное совершенствование информационно-телекоммуникационных технологий, реализация политики «Индустрия 4.0» и пр. объективно обозначают потребность современного общества в наращивании системы Data-центров в нашей стране, что, в свою очередь, задает необходимость системного совершенствования соответствующих ПАК, дальнейшего развития методов, методик и средств улучшения их качества.

ПАК для Data-центров представляет собой сложно структурированную систему средств программного обеспечения, соответствующих аппаратных средств и инженерно-технического обеспечения, позволяющих эффективно реализовывать предоставление хостинг-услуг, а так же

вычислительных ресурсов для нужд пользователей. Обобщенно состав, структура и уровни комплексирования в схематичном представлении ПАК для Data-центров показаны на рисунке 1.

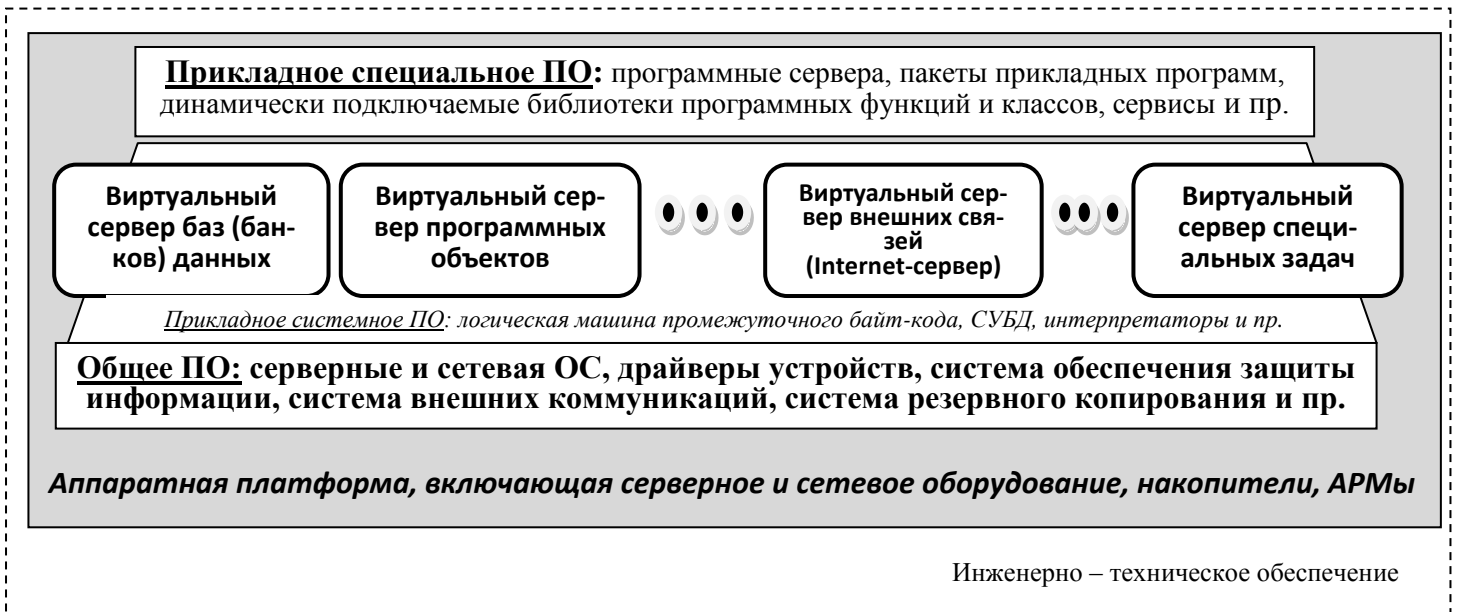


Рисунок 1 – Обобщенное представление состава и структуры ПАК для Data-центра

Качество ПАК для Data-центров является на современном этапе одним из определяющих факторов развития информатизации общества и экономики в РФ. Нормативная база технического регулирования их создания и эксплуатации в нашей стране характеризуется своей недостаточностью. Признанные международные стандарты профессиональных сообществ не в полной мере позволяют учесть специфику отечественного рынка хостинг и IT услуг, что оказывает отрицательное влияние на информационное обеспечение функционирования органов государственного и корпоративного управления, развитие хостинг-услуг для населения страны.

Основная тенденция в совершенствовании научно-методического инструментария оценки и улучшения качества ПАК Data-центров заключается в определении равновесия между объективностью, точностью оценок и их достаточностью, представительностью. Предметно это показывает нарастающее понимание факта, что квалиметрическая процедура должна удовлетворять требованиям технологии проектирования и комплексирования ПАК Data-центров по достаточному охвату параметров, влияющих на потребительские качества такого комплекса. При этом предполагается необходимость обеспечения высокого уровня достоверности, объективности такой оценки. В ходе диссертационного исследования проанализированы указанные показатели для современной нормативно-технической базы технологического регулирования процессов создания ПАК Data-центров в нашей стране. В сводном виде результаты проведенного в работе анализа для вопросов комплексирования аппаратных средств, представлены в Таблице 1, а для средств программного и информационного обеспечения даны в Таблице 2.

Итоги исследования современного состояния научно-методического инструментария оценки и улучшения качества ПАК Data-центров позволили выявить ниже приведенные тенденции в его развитии:

1. По мере усложнения технологий проектирования и комплексирования ПАК Data-центров оценка их качества все более не зависит от результатов инструментальных измерений параметров программных и аппаратных компонент. Это вызвано тем, что количество параметров про-



граммных компонент объективно мало (количество операторов, количество операндов и пр.). Также ограничено количество значений показателей качества, рассчитываемых по измеряемым параметрам. Доминирующее количество современных методов квалиметрической оценки ПАК для Data-центров ориентированы на использование квазисубъективных, качественных, или неточных количественных (бальных, вероятностных и пр.) т.н.измерений от экспертов. Для работы с такими нечеткими входными данными разработаны специализированные методики и соответствующий математический аппарат «мягких» вычислений.

Таблица 1 - Соответствие нормативно-методического инструментария оценки качества комплексирования и формирования аппаратной платформы в составе ПАК для Data-центров

| № п/п | Примеры нормативно-методических документов технического (технологического) регулирования, нашедшие применение при проектировании, комплексировании ПАК Data-центров | Базовый научно-методический подход, квалиметрический метод и пр.   | Достоинства   | Недостатки  |
|-------|---|--|---|---|
| 1.    | ГОСТ Р 51 901.1 -2002<br>ГОСТ Р 51 901.2 -2002<br>ГОСТ Р 51 901.5 -2002<br>И др.  | Методология оценки надежности Рябина И.А., логико-вероятный метод и его обобщения Можяева А.С., Соложенцева Е.Д., схемы функциональной целостности и пр. | 1.Наличие количественной меры;<br>2.Вариативность;<br>3.Простота интерпретации;             | 1.Ориентация только на показатели надежности;<br>2.Применимость к узкому классу систем.       |
| 2.    | ГОСТ Р 51 901.3 -2007<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288 - 2005<br>ГОСТ Р 53393 -2009<br>ГОСТ Р 53394 -2009<br>И др.  | Подход на основе экспертно-статистического оценивания свойств, метод многохромосомной оптимизации И.С.Кабака и пр.                                       | 1.Широкие возможности по оценке разнородных показателей;<br>2.Гетерогенность входных данных | 1.Субъективный характер оценок;<br>2. Сложность расчетных методик                             |
| 3.    | ГОСТ Р ИСО9000-2015<br>ГОСТ Р ИСО9001-2015<br>ГОСТ Р 51.904.4 -2005<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 - 2011                                   | Подход на основе свертки частных показателей в сводные, Метод количественной оценки интегрируемых модулей Б.М.Позднеева, процессный подход и пр.         | 1.Широкая применимость;<br>2. Разработанная методическая база                               | 1.Косвенный характер оценок и влияния на качество;<br>2.Громоздкость практического применения |

2.Рост возможностей текущих и перспективных форм предоставления хостинг-услуг, широкое внедрение принципов цифровой экономики объективно диктует тенденцию того, что научно-методические и нормативно-технологические инструментарии управления качеством ПАК для Data-центров все в большей степени будут являться не методиками формирования конечного заключения о качестве того или иного проекта, а способами целенаправленного поиска аномалий в его развитии при проектировании и реализации.

3.Широкое применение инструментария (методик) менеджмента качества в технологический процесс проектирования и комплексирования ПАК для Data-центров не снимает необходимости применения методик непосредственной оценки проекта формируемого центра. При этом процесс квалиметрической оценки ПАК для Data-центров рассматривается не как высокоточный подпроцесс по получению итогового вывода о достигнутом уровне разработанным проектом, а как некоторое логическое средство оперативного анализа для избежания системных просчетов и грубых ошибок. Приблизительный характер такой оценки на практике компенсируется итера-

тивностью самого подпроцесса оценивания, а так же цикличностью технологического процесса комплексирования и формирования ПАК для Data-центров.

Таблица 2 - Соответствие базовых научно-методологических школ современной квалиметрии видам ПО для ПАК Data-центров и применяемых для анализа их качества нормативно-методических документов технического (технологического) регулирования

| № п/п | Базовые научно-методологические школы современной квалиметрии ПО                        | Примеры нормативно-методических документов технического (технологического) регулирования, нашедшие применение при проектировании, комплексировании ПАК Data-центров                  | Типы программных продуктов, к которым могут быть отнесены компоненты ПО для ПАК Data-центров  |
|-------|---|--|---|
| 1.    | Методология оценки ПО и метрика Холстеда; производные (аналогичные) средства и метрики. | ГОСТ 28806 -90<br>ГОСТ 15971-90<br>ГОСТ 34.201-89<br>ГОСТ 34.601-90 и др.  | Пакеты прикладных программ, DLL-библиотеки, отдельные исполняемые модули.   |
| 2.    | Методология оценки и управления качеством ПО и метрика Джилба                           | ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010<br>ГОСТ Р 51904-2002<br>ГОСТ 2.601-95 и др.  | Отдельные функции, процедуры, методы классов (объектов), сервисы.   |
| 3.    | Методология инженерно-экономического проектирования ПО Б.Бозма.                         | ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 -2011<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 и др. | Утилиты, онтологии, программы из состава СУБД, компоненты промежуточного кода, кроссплатформенные программные системы и комплексы, программные среды со встроенными пакетами процедур |
| 4.    | Подход, основанный на менеджменте качества проектов по созданию (формированию) ПО       | ГОСТ Р ИСО9000-2015<br>ГОСТ Р ИСО9001-2015<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010<br>ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 -2011  | Программные продукты в полной компоновке, комплексы программ и баз данных, результирующие инсталляционные пакеты и пр.  |

Следовательно, на современном этапе констатируется факт доминирования эмпирического подхода в управлении качеством ПАК для Data-центров.

В обобщении результатов анализа предметной области оценки и улучшения качества ПАК для Data-центров, сделан вывод, что предлагаемая совокупность средств (инструментария) оценки качества указанных ПАК позволит устранить выявленное и положенное в обоснование актуальности темы исследования объективное противоречие.

**Вторая глава** посвящена разработке метода оценки качества ПАК Data-центров и базисной совокупности требований к их формированию. Метод оценки качества ПАК Data-центров включает описание этапов проведения такой оценки:

1. Синтез иерархии показателей оценки качества;
2. Взвешивание иерархии показателей оценки качества;
3. Определение формы и расчет значений показателей оценки. Интерпретация результатов.

В основу синтеза иерархии показателей оценки качества положен принцип агрегирования более простых показателей качества в состав более сложных. Качество ПАК Data-центров формально представляется как иерархическая сеть характеристик, оцениваемая интегральным показателем качества. Непосредственно измеряемые характеристики оцениваются элементарными, а другие – сводными показателями. В работе показано, что в рамках предлагаемого метода необходим подход, который позволил бы для каждого ПАК Data-центра синтезировать совокупность многоуровневых

показателей, адекватно представляющих качество конкретного исполнения комплекса. Так, показано, что интегральный показатель качества ПАК Data-центров  $Q$  в общем виде имеет форму:

$$Q = f(q_1(c_1), q_2(c_2), \dots, q_i(c_i), \dots, q_n(c_n)), \quad (1)$$

где:  $q_i(c_i)$  ( $i = \overline{1, n}$ ) - оценка качества по  $i$ -му непосредственно измеряемому или оцениваемому (элементарному) показателю  $c_i$ ;  $n$  - количество непосредственно измеряемых или оцениваемых показателей у ПАК Data-центра ( $n < \rho$ );  $\rho$  - общее количество показателей в составе иерархической сети оценки качества.

В работе показано, что практический результат монотонных преобразований отдельных показателей качества ПАК Data-центра заключается в переходе от вектора вида (1), в котором все показатели измерены в различных шкалах, к вектору нормированных частных показателей  $\tilde{q} = (\tilde{q}_1, \dots, \tilde{q}_m)$ ,  $\tilde{q}_i \in [0, 1]$ , где все показатели представлены в одной и той же шкале. Это позволяет добиться корректности процедуры агрегирования показателей. Эта процедура позволяет представить интегральный показатель качества ПАК Data-центра первоначально в

аддитивной  $Q(C_n) = \sum_{i=1}^n q_i(c_i)$ , далее в нормированной аддитивной  $Q(C_n) = \sum_{i=1}^n k_i q_i(c_i)$  и в

мультипликативной  $Q(C_n) = \prod_{i=1}^n q_i(c_i)$  формах. При этом,  $k$  - весовой коэффициент показателя. При

независимости единичных показателей групповые и интегральные показатели качества ПАК Data-центра могут быть представлены в виде нормированных аддитивных показателей линейной формы:

$$Q(C_{n_p}) = \sum_{i=1}^n k_i q_i \quad (2)$$

При этом синтез иерархической сети показателей качества ПАК Data-центров  $G$  осуществляется посредством экспертного опроса о структуре связей показателей, построения на этой базе сетевой структуры с последующей ее адаптацией к условиям оценивания качества ПАК конкретного Data-центра. Состав экспертной группы и ее согласованность определяются на основе базовых методов экспертного оценивания и принципов агрегирования более простых показателей качества в состав более сложных.

Взвешивание иерархии показателей оценки качества, т.е. определение веса каждого из частных показателей для соответствующего интегрального показателя более высокого уровня иерархии есть расчет значимости показателей качества ПАК Data-центров и вычленение малозначимых показателей из иерархической сети  $G$ . Для этого применяется математический аппарат анализа иерархий, позволяющий рассчитывать числовой вектор, задающий порядок предпочтительности показателей ближайшего нижнего уровня. Для этого в каждой декомпозиции сводного показателя сети показателей  $G$  через попарное сравнение задается на базе шкалы сравнительной важности матрица  $V = \|V_{ij}\|$  парных сравнений веса дочерних вершин, где  $V_{ij}$  - сравнительная оценка веса участия  $i$ -го показателя перед  $j$ -м в композиционно общем для них сводном показателе. Нахождение степени композиционного веса более простых показателей в составе более сложных сведено к расчету собственного вектора  $W$  матрицы  $V$ , элементы  $w_i \in W$  которого являются локальными

приоритетами данной композиции показателей. Расчетная формула определения оценки собственного вектора матрицы  $V$  имеет вид

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left( \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}} \right)}, \quad (3)$$

при  $n$  - размерность матрицы парных сравнений. На базе локальных приоритетов рассчитываются глобальные веса каждого показателя  $c_i \in C$  в сети  $G$ , которые представляют влияние частных показателей на интегральный показатель - качество ПАК Data-центра.

Базисная совокупность требований к формированию программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных, как методическая основа обеспечения качества такого специфического вида научно-технической продукции как ПАК Data-центров, есть систематизированное и структурированное множество требований, определяемых потребностями в указанных комплексах. Каждое из требований отражает ту или иную потребность (совокупность потребностей), а все они в своей взаимосвязи позволяют описать облик желаемой функциональности проектируемого и формируемого ПАК Data-центра. Облик типовой функциональности создаваемого ПАК Data-центра описан путем детализации и обоснования четырнадцати групп требований к: составу ПАК Data-центра; назначению (по предназначению) ПАК; эргономике и технической эстетике; надежности; эксплуатации, удобству технического обслуживания, ремонта и хранения; безопасности информации; стандартизации и унификации; технологичности; составу функциональных задач; организации информационных ресурсов; временным характеристикам автоматизированного выполнения функций; видам обеспечения; документации на ПАК и проведению его испытаний; а так же технико-экономические требования. Эти группы требований разработаны в общем виде и приведены в приложении к диссертации. Предполагается, что они могут быть использованы как методическая основа для разработки соответствующих технических заданий на проектирование и формирование ПАК Data-центров.

**Третья глава** посвящена разработке модели повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала, и методики определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных, а так же оценке эффективности предлагаемых научных положений, выносимых на защиту.

Указанная модель, включает в себя следующие составляющие части: 1. Подмодель формирования сетевого сервиса на базе библиотеки программных функций или других программных компонент в сети ПАК Data-центров; 2. Подмодель разработки и сопровождения библиотек прикладных функций и программных компонент; 3. Практические рекомендации по повышению результативности облачных вычислений за счет применения динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала.

В работе показано, что существо двухуровневой подмодели формирования сетевого сервиса в сети ПАК Data-центров заключается в том, что искомый сервис формируется полностью не на основе уникально разрабатываемого программного кода реализации заявленной функциональности (как это традиционно принято), а путем «крупноблочной» сборки из высоко верифицированных программных реализаций соответствующих функций. То есть, на первом уровне формируются и системно накапливаются отлаженные программные реализации программных

функций в виде соответствующих динамически подключаемых библиотек, а на втором уровне на их базе быстро формируются необходимые классы и экземпляры классов (объекты) реализации требуемой функциональности. Наглядно это показано на Рисунке 2. На базе этих классов и их экземпляров и реализуется полная функциональность сетевого сервиса в сети ПАК Data-центров. Очевидно, что системное накопление и верификация динамически подключаемых библиотек программных функций – основа высокотехнологичной и эффективной организации сетевых сервисов, а как следствие, и лучшего качества реализации облачных технологий (вычислений) в сети ПАК Data-центров. Конструктив этой частной модели заключается в том, что она позволяет эффективно использовать ранее разработанный и уже верифицированный программный код в создании новых сетевых сервисов. Именно это позволяет добиться роста их надежности, экономичности создания и технологичности, а как следствие результативности всех облачных вычислений в сетях указанных ПАК.

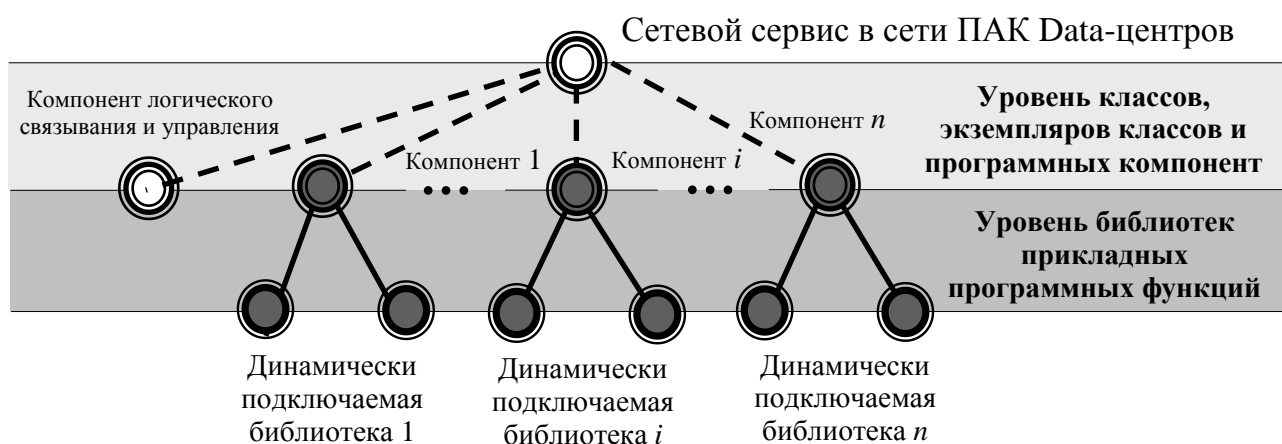


Рисунок 2 – Формирование сетевого сервиса на базе библиотеки программных функций и программных компонент в сети ПАК Data-центров

Существо подмодели разработки и сопровождения библиотек прикладных функций и программных компонент заключается в сочетании процедур объектно-ориентированного анализа различных решаемых прикладных задач на предмет декомпозиции этих задач до набора реализуемых математических, логических, лингвистическо-предикатных и пр. функций, с процедурами синтеза программного кода, реализующего указанные функции в контексте и при ограничениях решаемой прикладной задачи. Это позволяет системно структурировать и накапливать динамически подключаемые библиотеки различной тематики и применять их в рамках ранее рассмотренной подмодели двухуровневой модели формирования сетевого сервиса в сети ПАК Data-центров.

Практические рекомендации по повышению результативности облачных вычислений за счет динамических программных библиотек и сетевых сервисов, представляющие собой третью часть искомой модели повышения результативности указанных вычислений (облачных технологий), предполагает итеративный процесс разработки в пять шагов по каждой функции: 1. визуальная репрезентация (представление) функции; 2. кодирование функции на языке программирования; 3. объектно-ориентированное представление кода функции; 4. описание функции, ее входных и выходных параметров; 5. формирование соответствующего сетевого сервиса. Все указанные шаги детально описаны и представлены в работе.

В рамках методики определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных под отклик-процедурой улучшения качества ПАК Data-центров следует понимать такую совокупность методических и системно-технологических схем, моделей, приемов, используемых в технологическом процессе проектирования и формирования указанных ПАК, которая позволяет так изменить ход разработки (проектирования), что становится возможным избежать аномалий, выявленных при предшествующей оценке качества текущей версии этого комплекса (проекта комплекса). Т.е., отклик-процедура улучшения качества ПАК Data-центров заключается в выявлении частного недостатка, недочета, аномалии в текущем состоянии проектируемого и формируемого комплекса (одного или нескольких простых показателей качества в составе интегрального показателя качества), который позволяет наиболее эффективным образом повысить значения результатов оценки в иерархии показателей качества и целенаправленном его улучшении. При этом отклик-процедура основывается на анализе интегральных результатов оценки качества и заключается в системном подходе к преодолению выявленных аномалий.

Задача определения отклик-процедур улучшения качества ПАК Data-центров сводится к особому способу ранжирования множества значений, характеризующих влияние соответствующих процедур на аномалии текущей версии указанных ПАК, выявленные в ходе оценки их качества. Исходное множество отклик-процедур улучшения качества ПАК Data-центров может быть отранжировано на показателях, набор значений которых определяет собой одну или несколько выявленных аномалий качества. Каждая из отклик-процедур (каждый элемент множества) может быть представлена в виде поля (района) состояний ПАК Data-центров – пространства или части пространства с числом измерений, равным числу показателей, характеризующих выявленную аномалию или состояние разработки.

Ранжирование сводится к расчету граничных значений (границ) районов (областей) предпочтительности  $\{\Omega_j\}$  реализации отклик-процедур относительно рассматриваемых показателей  $q_i$  для каждого варианта процедуры улучшения. Граничные точки районов, определяющие их границы, рассчитываются через систему условий предпочтительности для каждой  $j$ -го варианта отклик-процедуры, состоящую из неравенств вида:

$$\sum_{i=1}^m k_i (y_{pi} - y_{ij}) \leq 0 \quad (4)$$

где:  $m$  - размерность задачи, т.е. количество анализируемых показателей;  $k_i$  - коэффициент важности  $i$ -го показателя в композиции показателей;  $y_{pi}$  - значение оценки  $p$ -го варианта отклик-процедуры по  $i$ -му показателю;  $y_{ij}$  - значение оценки  $j$ -го варианта отклик-процедуры, анализируемого на предпочтительность по отношению к остальным, по влиянию на прирост качества по  $i$ -му показателю;  $j$  - номер анализируемого (текущего) варианта отклик-процедуры улучшения;  $p$  - номер варианта отклик-процедуры, относительно которого определяется предпочтительность. Таким образом, экспликация математического аппарата метода районирования на предметную область обоснованного выбора отклик-процедур улучшения качества ПАК для Data-центров позволяет предложить соответствующую методику, обеспечивающую интерпрета-

цию результатов оценки качества проектов указанных комплексов. В работе рассмотрен расчетный пример определения отклик-процедуры улучшения качества по разработанной методике.

Оценка эффективности результатов исследования проведена в рамках технологического процесса разработки (проектирования, комплексирования и формирования) Data-центра для нужд развития модельного ситуационного центра, осуществлявшегося специалистами АО «СПИИРАН-НТБВТ» в 2017 году. В Таблице 3 представлены итоговые результаты экспертной оценки предлагаемых и традиционных средств оценки, улучшения качества ПАК Data-Центров, которые показывают, что результаты данного исследования (вариант 1) наиболее полно обеспечивают ориентацию процессов создания указанных комплексов на решение задач роста их качества.

Таблица 3 - Результаты сравнительного анализа предлагаемых и традиционных средств оценки, улучшения качества ПАК Data-Центров

| Показатели, по которым проводилось сравнение  | Предложенные метод оценки и средства улучшения качества ПАК Data-Центров | Универсальные стандарты, процедуры и средства менеджмента качества ISO | Стандарты и инструментари профессионального сообщества IT-сферы, применяемые к ПАК |
|---|--|--|--|
| Наличие связной и формализуемой системы показателей   | Есть   | Нет  | Есть   |
| Максимальное число учитываемых показателей  | 110-180  | 30-50  | 10-20  |
| Обеспечиваемая точность ранжирования показателей  | 0,001 -0,05  | 0,1-0,2  | -  |
| Уровень структурной сложности системы показателей   | 1  | 0,5  | 0  |
| Практическая применимость в процедурах проектирования и формирования ПАК, стыковки и интеграции их составных частей:<br>– простота интерпретации;<br>– наличие метрической размерности параметров;<br>– простота алгоритмизации;<br>– максимальное количество обеспечиваемых уровней вложенности показателей;<br>– адаптивность сети показателей. | Однозначная<br><br>Ординальное<br><br>Да<br>5-7<br><br>Есть              | Неполная<br><br>Ординальное<br><br>Нет<br>2-3<br>Нет                   | Неоднозначная<br><br>Нет<br><br>Нет<br>1<br>Нет                                    |
| Трудоемкость оценивания   | Низкая   | Обычная  | Повышенная   |
| Трудоемкость реализации в рамках технологического процесса создания ПАК для Data-центра   | Низкая   | Повышенная   | Повышенная   |

В **Заключении** перечисляются и обобщаются основные результаты диссертационной работы.

### III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе достигнута цель, имеющая важное экономическое значение - улучшение качества и обеспечение системного развития ПАК Data-Центров за счет учета вложенности показателей качества, систематизации требований и повторного использования разработанного программного кода в процессе их развития.

В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан метод оценки качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных (Data-центров), позволяющий развить известный научно-методический аппарат оценки программного и аппаратного обеспечения для варианта ПАК Data-Центров путем иерархического представления совокупности показателей качества этих комплексов, добиться роста обоснованности решений по управлению их качеством.

2. Разработана базисная совокупность требований к формированию программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных обеспечивающая новый уровень типизации процедур синтеза указанных комплексов, за счет наиболее полного учета многофакторности хостинг-услуг для нужд государственного и корпоративного управления.

3. Разработана модель повышения результативности облачных вычислений за счет использования динамических программных библиотек и сервисов прикладного функционала, которая позволяет вывести на качественно-новый уровень возможности ПАК Data-Центров по предоставлению хостинг-услуг, за счет повторного использования в ходе их развития разработанного и верифицированного кода.

4. Разработана методика определения отклик-процедур улучшения качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных дающая возможность автоматизированной интерпретации результатов оценки качества указанных комплексов, за счет корректного применения математического метода районирования.

Внедрение результатов диссертационного исследования в АО «СПИИРАН-НТБВТ» дало практические результаты в виде роста показателей качества проектируемых и формируемых ПАК Data-Центров и улучшении качества предоставления хостинг-услуг, что подтверждается соответствующими актами.

Сводным и итоговым результатом внедрения предлагаемого научно-методического инструментария оценки и улучшения качества ПАК Data-Центров является снижение числа итераций процесса проектирования указанных комплексов, при их разработке и стыковке на месте размещения. Предложенный инструментарий позволяет добиться снижения указанной итеративности на 25-30%, добиться сокращения общего времени проектирования и формирования ПАК Data-Центров на 20-30%.

#### **IV. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### **Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых журналах:**

1. Морозов, С.А. Типизация процедур построения программно-аппаратных комплексов для центров обработки и хранения данных / С.А. Морозов, А.В. Чабаненко // Вопросы радиоэлектроники 2014. №2. С.169-176.
2. Морозов, С.А. Управление производственно-технологическими комплексами в условиях неопределенности / С.А. Морозов., В.М. Балашов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2016. Вып. 2 С. 86-89
3. Морозов, С.А. Иерархия показателей оценки качества программно-аппаратных комплексов центров обработки и хранения данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Научный журнал «Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна» №5 2017. С. 128-136
4. Морозов, С.А. Взвешивание иерархии показателей оценки качества программно-аппаратных комплексов данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова // Научный журнал «Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна» №5 2017. С. 136-143
5. Морозов, С.А. Обеспечение качества программно-аппаратных комплексов для центров хранения и обработки данных / С.А. Морозов, Я.А. Ивакин, В.М. Балашов, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №3 С. 145-150



**Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций:**

6. Морозов, С.А. Традиции и инновации в современном образовательном процессе // Шестьдесят седьмая международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч. I. Технические науки. СПб.: СПбГУАП, 2014. С. 154-156.
7. Морозов, С.А. Автоматизированное проектирование процессов обработки информации и управления // VI Международная Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2014). Пермь, 2014. С. 158-161.
8. Морозов, С.А. Стандартизация наукоёмкой продукции // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. СПб.: ГУАП. 2015. С. 165-168.
9. Морозов, С.А. Проблемы совершенствования системы управления рисками в интегрированных бизнес-группах // Шестьдесят восьмая международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: в 2 ч. Ч. I. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2015, С. 186-188
10. Морозов, С.А. Анализ типовых программно-информационных и телекоммуникационных решений для ПАК Data-центров // Шестьдесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч. I. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2016. С. 301-304.
11. Морозов, С.А. Разработка методики количественной оценки качества конструкторской документации // Материалы второй научно-технической конференции «Будущее предприятия - в творчестве молодых». Санкт-Петербург: АО «НПП «Радар ммс», 2016, С. 139-143
12. Морозов, С.А. Разработка и внедрение системы управления производством инновационной продукции // Научная сессия ГУАП, 11-15 апреля 2016 г.: сборник докладов: [в 3 ч.] / - Санкт-Петербург : ГУАП, 2016. - Ч. 2: Технические науки. - 2016. С. 301-305
13. Морозов, С.А. Оптимизация защищенной передачи данных в сетях автоматизированных информационных систем // Семидесятая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб. докл.: В 4 ч. Ч. 1. Технические науки / СПб.: ГУАП., 2017. С. 290-293
14. Морозов, С.А. Особенности проектирования и комплексирования ПАК Data-центров // Сб. научных статей VII Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» – Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2018. С. 58-63
15. Морозов, С.А. Теоретические основы и базовые технологии формирования ПАК для Data-центров // VI Межрегиональная научно-техническая конференция «День информационных технологий», Санкт-Петербург. 2018. С. 67-72.

Подписано в печать \_\_.\_\_.2018. Формат 60x84 1/16.

Печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, г. Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67