

**МАКЛАЧКОВА Виктория Валентиновна**

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ И РЕСУРСОВ КОРПОРАТИВНЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Специальность 2.3.8. «Информатика и информационные процессы»
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2025

Работа выполнена на кафедре «Сетевые информационные технологии и сервисы» ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Докучаев Владимир Анатольевич

Официальные оппоненты: **Олейникова Светлана Александровна**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный технический
университет», профессор кафедры
автоматизированных и вычислительных систем
Факультета информационных технологий и
компьютерной безопасности

Андрианова Елена Гельевна,
кандидат технических наук, доцент, РТУ МИРЭА,
заведующий кафедрой корпоративных
информационных систем

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени
Патриса Лумумбы»

Защита состоится 24 декабря 2025 г., в 11:00 часов, на заседании диссертационного совета 55.2.002.02 на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) по адресу: 111024, г. Москва, улица Авиамоторная, 8А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ:
<https://dis.mtuci.ru/dis/02>

Автореферат разослан ____ _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 55.2.002.02,

кандидат технических наук, доцент

Михаил Геннадьевич Городничев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В рамках реализации Национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государственного управления» во всех сферах экономической жизни возникает большое количество новых задач, решение которых требует качественной обработки всё больших объёмов информации конфиденциального характера, к которой относятся персональные данные (ПДн) субъекта.

В соответствии с Федеральным законом «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ (далее – Законом № 152-ФЗ) и Постановлением Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» ПДн *выделяются в отдельный класс обрабатываемых данных*, что послужило причиной необходимости разработки новых моделей и алгоритмов оценки информационных ресурсов и процессов, связанных с обработкой ПДн в информационных системах персональных данных (ИСПДн).

Для организаций совокупность вопросов, связанных с автоматизированной обработкой ПДн в информационных системах (ИС), включает в себя, с одной стороны, контроль эффективности использования ресурсов ИС и возникающих в процессе обработки рисков нарушения качества ПДн, а с другой – взаимоотношение с клиентами и партнерами.

Для выполнения требований действующего законодательства в части обеспечения безопасных информационных процессов обработки ПДн крупные организации всё чаще используют в ИСПДн мультиоблачную архитектуру, что ведёт к усложнению контроля эффективности использования ресурсов подобных систем и усложнению сценариев обработки запросов к ПДн. Кроме того, использование мультиоблачной архитектуры в ИСПДн способствует расширению ландшафта потенциальных рисков нарушения качества обработки ПДн.

В связи с вышеизложенным требуют решения следующие задачи, связанные с автоматизированной обработкой ПДн в корпоративных ИСПДн:

- мониторинг и оценка эффективности использования задействованных в обработке запросов к ПДн ресурсов ИСПДн;
- осуществление на постоянной основе оценки рисков нарушения качества обрабатываемых ПДн для оценки эффективности используемых в ИСПДн защитных мер, снижающих уровень информационных рисков ПДн.

Решение выделенных задач возможно путём применения соответствующих моделей и алгоритмов.

В диссертационной работе акцент сделан на исследовании информационных процессов обработки ПДн в корпоративных автоматизированных ИС с мультиоблачной архитектурой. В качестве ПДн рассматриваются общие, общедоступные ПДн и специальные категории ПДн, обрабатываемые в коммерческих и некоммерческих организациях коммерческой, научной, образовательной и социальной сфер деятельности.

Степень разработанности темы исследования. Различные аспекты решения

задач оценки эффективности использования ресурсов ИС и оценки качества обработки информации в корпоративных ИС и информационно-телекоммуникационных сетях рассмотрены в работах советских и российских исследователей (Башарин Г.П., Вишневский В.М., Гайдамака Ю.В., Гольдштейн Б.С., Гребешков А.Ю., Докучаев В.А., Ефимушкин В.А., Казанский Н.А., Курносова Н.И., Кучерявый А.Е., Лазарев В.Г., Лазарев Ю.В., Ледовских Т.В., Мархай Е.В., Метельский Г.Б., Назаров А.А., Наумов В.А., Нейман В.И., Печинкин А.В., Пшеничников А.П., Рогинский В.Н., Ромашкова О.Н., Росляков А.В., Рыкова Т.В., Саксонов Е.А., Самуйлов К.Е., Соколов Н.А., Степанов С.Н., Харкевич А.Д., Цитович И.И., Шнепс-Шнеппе М.А. и др.), а также зарубежных исследователей (Дудин А.Н., Bohge M., Capozzi F., Erlang A.K., L. R. Ford Jr., Fulkerson D. R., Iversen B., Kelly F.P., Kleinrock L., Kobayashi H., Palm C., Poisson S.D., Rappaport S., Wang L., Wu D. и др.).

Обсуждению и анализу вопросов управления рисками в современных ИСПДн и безопасной обработки ПДн посвящены публикации российских и зарубежных учёных (Голованова Е.Н., Докучаев В.А., Емельяников М.Ю., Мунтян А.В., Саксонов Е.А., Стасьев В.Ю., Шередин Р.В., Шинаков К.Е., Christopher Kuner, Fred H. Cate, Christopher Millard, Dan Jerker B. Svantesson, Orla Lynskey, Majid Mollaeefar, Silvio Ranise, Raphaël Gellert, Jakub Breier, Hude Ladislav, F. Kunz and Z. Á. Mann, D. B. Rawat, R. Doku, M. Garuba, C. b. Manjunath Reddy, U. k. reddy, E. Brumancia, R. M. Gomathi, K. Indira, H. Ye, X. Cheng, M. Yuan, L. Xu, J. Gao and C. Cheng и др.).

Отметим, что в указанных работах недостаточно отражены теоретические и практические вопросы разработки алгоритмов, реализующих методы массового обслуживания в дискретном времени и позволяющих провести анализ использования ресурсов корпоративных ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, а также вопросы организации безопасной работы с ПДн в ИСПДн в условиях априорных рисков нарушения целостности, конфиденциальности и доступности ПДн. Это обуславливает научную актуальность настоящего исследования.

Целью диссертационного исследования является повышение качества автоматизированной обработки ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой путём оценки эффективности использования ресурсов системы и снижения возникающих при обработке информационных рисков персональных данных с помощью соответствующих моделей и алгоритмов.

Задачи диссертационной работы:

1. Разработка единого системного подхода к организации безопасной обработки ПДн в ИСПДн.
2. Разработка сценариев информационных процессов обслуживания запросов на обработку ПДн в ИСПДн с последующей формализацией задачи оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.
3. Разработка модели и алгоритма оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн при обработке ПДн с учётом её мультиоблачной архитектуры.
4. Разработка модели и алгоритма оценки рисков нарушения качества ПДн при их обработке в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.

Объектом исследования в диссертационной работе являются корпоративные автоматизированные ИС территориально распределённых коммерческих и

некоммерческих организаций, предназначенные для обработки ПДн, их ресурсы и информационные процессы при автоматизированной обработке ПДн.

Предметом исследования в диссертационной работе являются модели и алгоритмы оценки информационных процессов и ресурсов корпоративных автоматизированных информационных систем персональных данных с мультиоблачной архитектурой.

Научная новизна работы заключается в разработке моделей и алгоритмов, направленных на повышение качества процессов автоматизированной обработки персональных данных в корпоративных ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.

В результате выполнения диссертационной работы были получены следующие научные результаты:

1. Единый системный подход к организации безопасной обработки персональных данных в ИСПДн за счёт унификации информационных процессов, что, *в отличие от существующих* подходов, *позволяет* в дальнейшем разработать адекватную подсистему обеспечения качества этих процессов с целью выполнения требований нормативных правовых актов, эффективного использования ресурсов ИСПДн при обработке персональных данных и минимизации рисков нарушения качества ПДн (2.3.8, п.6).

2. Представление информационных процессов обслуживания разного типа запросов на обработку ПДн в ИСПДн в форме сценариев *позволяет* для построения и исследования модели функционирования ИСПДн с мультиоблачной архитектурой использовать графо-матричные модели процессов обработки запросов к ПДн в ИСПДн и анализ систем массового обслуживания в дискретном времени (2.3.8, п.1).

3. Модель оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн с мультиоблачной архитектурой при автоматизированной обработке персональных данных, учитывающая, *в отличие от известных моделей*, обработку разного типа запросов к персональным данным на основе сценариев и дискретный характер подобных запросов. Разработанный алгоритм решения системы уравнений равновесия для расчёта основных вероятностно-временных характеристик функционирования ИСПДн *позволяет* снизить трудоёмкость вычислительного процесса (2.3.8, п.1).

4. Модель оценки рисков нарушения качества ПДн, учитывающая, *в отличие от существующих*: особенности и условия функционирования корпоративной ИСПДн с мультиоблачной архитектурой при обработке разных категорий ПДн; такие свойства ИСПДн, как масштабируемость, гибкость, расширяемость; требования организации к допустимости рисков, и *позволяющая* представить задачу оценки допустимости рисков ПДн в виде оптимизационной задачи. Предложенная модель позволяет определить наиболее приоритетные направления минимизации рисков с целью усовершенствования информационных процессов обработки ПДн. Разработанный алгоритм *позволяет* решить поставленную оптимизационную минимаксную задачу как задачу линейного программирования (2.3.8, п.1).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в применении системы массового обслуживания (СМО) в дискретном времени, позволяющей провести анализ эффективности использования ресурсов ИСПДн, и описания проблемной области оценки

информационных рисков ПДн в виде семантической модели, позволяющей перейти к решению оптимизационной задачи линейного программирования, ориентированной на использование вычислительной техники.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные модели и алгоритмы могут быть использованы в организациях, занимающихся обработкой ПДн, при проектировании и эксплуатации корпоративных ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, а также при построении подсистемы обеспечения безопасных информационных процессов обработки ПДн в соответствии с требованиями нормативных правовых актов, бизнес- и технологических процессов и инфраструктуры ИСПДн.

Разработаны программные приложения для:

- анализа показателей эффективности использования ресурсов ИСПДн;
- оценки и минимизации информационных рисков при автоматизированной обработке ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.

Методы исследования. В диссертационной работе для решения задач были применены основные положения теории графов, теории вероятности, теории массового обслуживания и теории управления рисками в информационных системах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Единый системный подход к организации процессов автоматизированной обработки персональных данных в ИСПДн, унифицирующий информационные процессы, что даёт возможность разработать подсистему обеспечения качества этих процессов, учитывающую особенности архитектуры ИСПДн и требования нормативных правовых актов к автоматизированной обработке запросов к ПДн.

2. Сценарии обработки разного типа запросов к ПДн, позволяющие построить граф переходов между макросостояниями процесса обработки запроса, что в дальнейшем для формализации задачи оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн с мультиоблачной архитектурой даёт возможность представить рассматриваемый процесс в виде системы массового обслуживания конечной ёмкости в дискретном времени с ординарным неоднородным поступающим потоком заявок, с распределением длительности обслуживания фазового типа в дискретном времени.

3. Модель функционирования ИСПДн с мультиоблачной архитектурой при обслуживании запросов к ПДн, позволяющая учитывать сценарии обработки разного типа запросов к ПДн и найти стационарное распределение вероятностей. Алгоритм решения системы уравнений равновесия для расчёта основных вероятностно-временных характеристик функционирования ИСПДн для оценки эффективности использования ресурсов, снижающий трудоёмкость вычислительного процесса.

4. Модель оценки рисков нарушения качества ПДн при их обработке в корпоративной ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, учитывающая особенности и условия функционирования ИСПДн, а также ограничения допустимости рисков, что позволяет обеспечить гибкость процесса оценки рисков ПДн и разработать алгоритм решения задачи по минимизации рисков ПДн как минимаксной оптимизационной задачи. Алгоритм решения задачи, позволяющий свести многокритериальную задачу минимизации рисков нарушения качества ПДн к решению задачи линейного программирования.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается: корректным использованием современного математического аппарата; достаточно широкой апробацией результатов, подтверждением адекватности моделей численными экспериментами на базе исследования использования ресурсов ИС при работе с ПДн, потенциальных рисков, возникающих при обработке ПДн в ИСПДн российских организаций с учётом мультиоблачной архитектуры.

Основные положения и отдельные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: XV, XVI и XVII Международных научно-практических конференциях «Актуальные проблемы и перспективы развития экономики» (Гурзуф, 2016-2018 гг.), XI - XIV Международных отраслевых научно-технических конференциях «Технологии информационного общества» (Москва, 2017-2025гг.), Международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы-2018» (Москва, 2018г.), XVIII и XXI Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (Казань, 2017 г., 2019 г.), XV и XX Международной научно-практической конференции «Теория и практика экономики и предпринимательства» (Симферополь-Гурзуф, 2018 г., 2023 г.), XXVIII Международный Форум МАС' 2024. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ. СВЯЗЬ БУДУЩЕГО (Москва, 2024г.), Международных научных конференциях «SYSTEMS OF SIGNALS GENERATING AND PROCESSING IN THE FIELD OF ON BOARD COMMUNICATIONS» (Москва, 2018-2020 гг.), Международных конференциях «International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH – Proceedings» (Вена, 2020-2023 гг.).

Личный вклад. Результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно, математические процедуры и программные средства разработаны при непосредственном участии автора.

Реализация и внедрение. Результаты диссертационного исследования были использованы при организации бизнес-процессов, связанных с обработкой и хранением ПДн, в ОАО «РЖД» – при разработке технических заданий на создание и модернизацию ИСПДн и в программах повышения квалификации работников, в ООО «ТрастВерс» – для оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн и выявления наиболее критичных рисков ПДн, а также в учебном процессе МТУСИ, о чём имеются соответствующие акты – 3 шт.

Разработанное программное обеспечение передано в Федеральную службу по интеллектуальной собственности (свидетельства № 2023615007 и 2025660244).

Соответствие паспорту научной специальности. Область исследования и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.8. «Информатика и информационные процессы» (технические науки) в части:

- п.1 «Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения»;

- п.6 в части «Обеспечение информационных систем и процессов, применения информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления».

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 43 печатных работах, из них: 1 монография (в соавторстве); 9 учебных изданий; 9 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для публикации основных результатов диссертационных исследований; 7 статей в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus и Web of Science; 16 – в рецензируемых материалах и трудах всероссийских и международных конференций; 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 234 наименований и 7 приложений. Основная часть изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 12 таблиц и 36 рисунков, общий объём диссертации 192 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, её научная и практическая значимость, сформулированы задачи исследования.

В первой главе проведено исследование основных информационных процессов обработки ПДн в корпоративных автоматизированных ИСПДн и состава ресурсов ИСПДн, задействованных для обработки запросов к ПДн, для разработки единого системного подхода к организации процессов обработки ПДн в ИСПДн и определения границ исследования. Ставятся задачи оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн при обработке ПДн и оценки информационных рисков ИСПДн.

Показано, что унификация информационных процессов жизненного цикла реализации процедур автоматизированной обработки ПДн за счёт разделения его на шесть основных этапов позволяет создать единый системный подход к организации безопасной обработки ПДн в ИСПДн. Это в дальнейшем даёт возможность разработать адекватную подсистему обеспечения качества этих процессов с целью выполнения требований нормативных правовых актов, эффективного использования ресурсов ИСПДн при обработке ПДн и минимизации рисков нарушения качества ПДн. Под риском нарушения качества ПДн (далее информационный риск или риск) понимается возможность наступления случайного события в ИСПДн в целом или в её отдельных элементах, приводящего к снижению качества ПДн.

Анализ состава ресурсов ИСПДн, задействованных в обработке запросов к ПДн, и категорий обрабатываемых ПДн показал, что границы процесса оценки эффективности использования ресурсов системы и рисков нарушения качества обработки ПДн определяются совокупностью элементов (ресурсов) ИСПДн, их интерфейсов, а также архитектурой ИСПДн.

Анализируя текущее состояние проблемы оценки характеристик использования ресурсов ИСПДн, отметим, что в работах теоретического плана решаются задачи стандартной техники, развитой в теории массового обслуживания. При этом не

учитывались особенности, присущие современным ИСПДн: мультиоблачная архитектура, технология взаимодействия отдельных облаков друг с другом при обработке ПДн, различные сценарии обработки, категории ПДн. Это обосновывает необходимость разработки новых моделей, учитывающих эти особенности.

Таким образом для решения задачи оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн необходимо разработать математическую модель, в основе которой лежит представление ИСПДн в виде СМО в дискретном времени, которая должна учитывать дискретную природу современных запросов к ПДн в ИСПДн.

Цель оценки информационных рисков – определить характеристики рисков по отношению к ИСПДн и её элементам. При этом учитываются следующие факторы: ценность элементов; значимость угроз и уязвимостей; эффективность существующих и планируемых мер противодействия воздействиям на ИСПДн. Обобщенная схема воздействия на ПДн, которая показывает взаимосвязь данных факторов, представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обобщенная схема воздействия на ПДн

Проведённый автором анализ существующих подходов к оценке рисков ПДн показал, что они не позволяют подстраивать подход к оценке рисков к изменяющимся внутренним и внешним требованиям.

Для решения задачи оценки информационных рисков в ИСПДн необходимо разработать математическую модель, которая позволит учитывать новые угрозы и уязвимости, а задачу оценки допустимости информационных рисков при использовании известных способов противодействия воздействиям на ИСПДн свести к решению оптимизационной задачи вида:

$$\min_Z \max_T P_\Sigma, \quad (1)$$

где P_Σ – объединённый (консолидированный) риск по оцениваемому множеству элементов ИСПДн; Z – множество принятых мер по уменьшению риска; T – множество потенциальных угроз.

Во второй главе проведено исследование принципов организации и функционирования ИСПДн с мультиоблачной архитектурой и особенностей обработки запросов к ПДн, что позволило построить обобщённые сценарии обработки разного типа запросов к ПДн и применить для разработки модели оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн графо-матричное моделирование процессов обработки запросов с последующим анализом СМО в дискретном времени.

Для отслеживания информационных процессов автоматизированной обработки

ПДн в ИСПДн и построения моделей этих процессов необходимо разработать сценарии разного типа запросов на обработку ПДн. ПДн могут храниться и обрабатываться в различных подсистемах ИСПДн. Тип запроса определяется категорией пользователя, инициирующего запрос к ИСПДн, целью и содержанием запроса.

На рисунке 2 представлена исследуемая функциональная схема ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, отражающая процесс взаимодействия пользователей с ИСПДн при обработке запросов к ПДн.

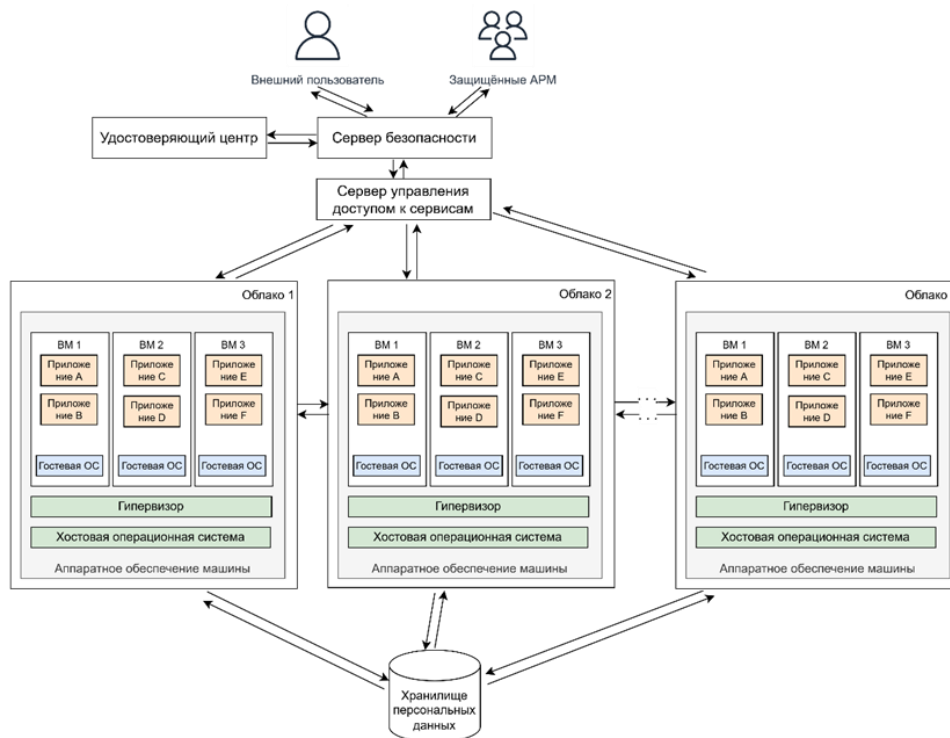


Рисунок 2 – Вариант функциональной схемы ИСПДн с мультиоблачной архитектурой

В качестве примера выделим в исследуемой схеме следующие основные типы запросов:

- инициированные работником организации, отправляющим запросы на обработку ПДн в ИСПДн либо в замкнутом контуре со своего автоматизированного рабочего места (АРМ), либо со своего устройства по VPN: создание цифрового профиля субъекта ПДн; доступ к ПДн; поиск информации о ПДн; внесение изменений в ПДн субъекта; удаление ПДн субъекта;

- инициированные внешним пользователем (клиентом), отправляющим запросы в ИСПДн по интернет через веб-приложение: создание своего цифрового профиля; доступ к своим ПДн; поиск информации в своём цифровом профиле; внесение изменений в свои ПДн; запрос на удаление своих ПДн;

- со стороны ИСПДн: оповещение пользователя; уточнение запроса пользователя или действий.

Допускается, что работники имеют право в рамках назначенных прав доступа запрашивать и получать информацию, содержащую ПДн, в любом ресурсе мультиоблачной архитектуры организации.

Для каждого типа запроса разрабатывается свой сценарий. Отметим, что запрос

при выполнении может активировать другие запросы. Далее в работе рассматривается построение аналитической модели оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн на примере обобщённого сценария процесса обработки запроса на поиск информации о ПДн в ИСПДн, предполагающего для обеспечения полноты и достоверности информации возможность поиска во всех подсистемах ИСПДн, которые могут находиться в других облаках (Облако i , $1, N$). При этом возможен интерактивный диалог работника и ИСПДн для уточнения действий. На рисунке 3 «Человек» – это работник организации, «Облако» – облачный ресурс ИСПДн, «Сервер» – сервер безопасности и управления доступом.

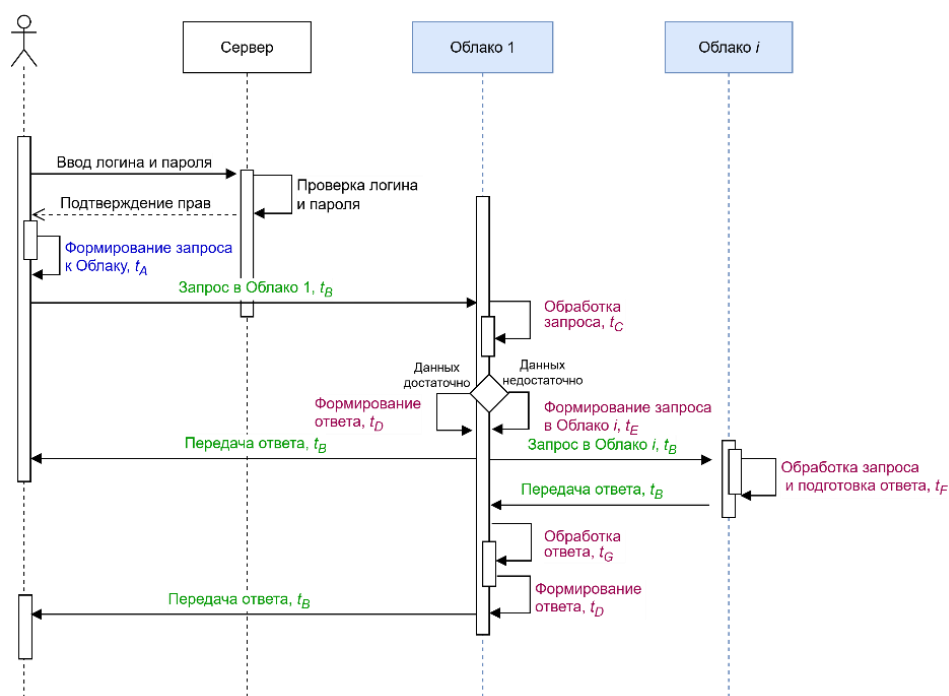


Рисунок 3 – Обобщённый сценарий запроса в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой на поиск информации о ПДн

Представление процесса обработки запроса к ПДн в виде сценария позволяет выделить участников всех этапов инициации и обработки запроса, этапы его обработки и для каждого этапа дать краткое описание и указать формирование задержек на этих этапах. Это, в свою очередь, далее даёт возможность представить процесс обработки запроса в виде графа переходов между макросостояниями процесса и построить аналитическую модель информационных процессов обработки запросов в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.

В третьей главе разрабатывается и исследуется модель оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн, учитывающая особенности обработки запросов к ПДн, реализуемых на основе разработанных сценариев. Предложен алгоритм решения системы уравнений равновесия (СУР) для расчёта основных вероятностно-временных характеристик (ВВХ) функционирования ИСПДн для оценки показателей эффективности.

Для формализации процесса оценки эффективности использования ресурсов

ИСПДн используется предложенный во второй главе подход к построению модели.

Построение модели функционирования ИСПДн с мультиоблачной архитектурой рассматривается на примере сценария, представленного на рисунке 3. Предполагается, что базы данных ИСПДн соответствуют требованиям согласованности и целостности и время на их блокировку при выполнении запроса далее не учитывается.

Для построения графа переходов введём множество макросостояний процесса обработки запроса $S = \{A, B, C, D, E, F, G\}$, где макросостояния имеют смысл, как на рисунке 3. Будем считать, что с вероятностью b_1 запрашиваемых ПДн в БД Облака 1 достаточно и из С процесс переходит в D для формирования ответа на запрос. Если нет, то формируется запрос (с \bar{b}_1) к внешним подсистемам ИСПДн в другом облаке (E) для получения требуемых данных. После обработки ответа от внешних подсистем ИСПДн (G) принимается решение, что полученных данных достаточно и формируется ответ на запрос (с b_2), либо инициируется повторный запрос в одну из внешних подсистем ИСПДн (с \bar{b}_2). Граф переходов между макросостояниями представлен на рисунке 4.

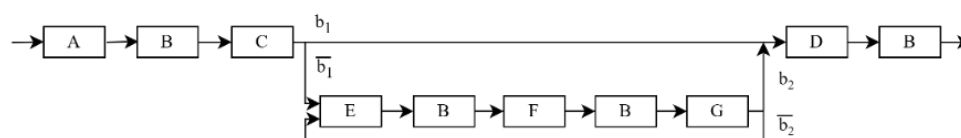


Рисунок 4 – Граф переходов между макросостояниями процесса обработки запроса на поиск ПДн

Такое представление процесса обработки запроса к ПДн позволило использовать в качестве модели рассматриваемого процесса однолинейную СМО конечной ёмкости в дискретном времени с ординарным неоднородным поступающим потоком заявок, распределённым по геометрическому закону. Каждое макросостояние образуется микросостояниями с длительностью каждого один такт дискретного времени.

Под заявкой в СМО будем рассматривать запрос определённого типа на осуществление действий с ПДн; для каждого типа заявки разрабатывается сценарий обработки; в качестве прибора рассматривается ИСПДн как совокупность облаков; в качестве этапов обработки заявки – отдельные облака из N облаков в ИСПДн, в которых реализуются процессы обработки запросов к ПДн в соответствии с регламентами обобщённых сценариев; буферный накопитель (БН) – сервер буферизации запросов и управления доступом к сервисам (облакам). Входящий поток характеризуется случайными моментами поступления заявок в систему и типом поступающей заявки. Отметим, что в предлагаемой модели принято следующее допущение: облако – совокупность ресурсов, задействованных для обработки запросов к ПДн; канал передачи данных при организации межоблачной связи принят в качестве абсолютно надёжного, поэтому не учитывается.

Будем считать, что на систему поступают заявки N -типов, период времени между заявками распределён по геометрическому закону со средним $1/a$ ($0 < a < 1$); поступившая заявка с вероятностью g_i ($i = \overline{1, N}$), $g_i = 1$, является i -заявкой,

соответствующей запросу одного из рассматриваемых типов, $a_i = g_i a$. При этом точка вместо индекса означает полную сумму переменной по этому индексу. Будем полагать, что БН для хранения заявок имеет конечную ёмкость равную r ($r < \infty$). Одновременно в системе может находиться общее число заявок равное $R = r + 1$. Введём следующее допущение: заявка, поступившая на переполненную СМО, получает отказ и не оказывает влияния на функционирование системы. Функционирование СМО рассматривается в дискретном времени с тактом постоянной длины h , $h > 0$. Считаем, что все изменения в СМО происходят в моменты времени nh , $n = 1, 2, \dots$, и события могут происходить в следующей последовательности: 1) поступление и буферизация; 2) окончание обслуживания; 3) выбор заявки на обслуживание.

В разработанной СМО рассматривается распределение длительности обслуживания i -заявки, соответствующей запросу одного из рассматриваемых типов, на приборах фазового типа с PHD-представлением (c_i, \mathbf{B}_i) порядка K_i ($i = \overline{1, N}$), $K = 1, 2, 3, \dots, H$, с $\mathbf{c}^T = (c_1, c_2, \dots, c_K)$ – параметрами постановки на этапы, $c_i \geq 0$; $i = \overline{1, K}$; $c_i = 1$ и $\mathbf{B} = \|b_{ij}\|_{i,j=\overline{1, K}}$ – субстохастической матрицей переходов между этапами такой, что $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_K)^T = (\mathbf{I} - \mathbf{B})\mathbf{1} \neq 0$.

Таким образом, рассматриваемая СМО ИСПДн с мультиоблачной архитектурой относится к классу $Geom_N | PHD_N | 1 | r < \infty | f_0$ – однолинейная СМО в дискретном времени с ординарным неоднородным поступающим потоком заявок разного типа, распределенным по геометрическому закону, с распределением длительности обслуживания фазового типа в дискретном времени и БН конечной ёмкости, где f_0 – множество бесприоритетных дисциплин выбора заявок из БН на обслуживание. Предлагаемая СМО приведена на рисунке 5.

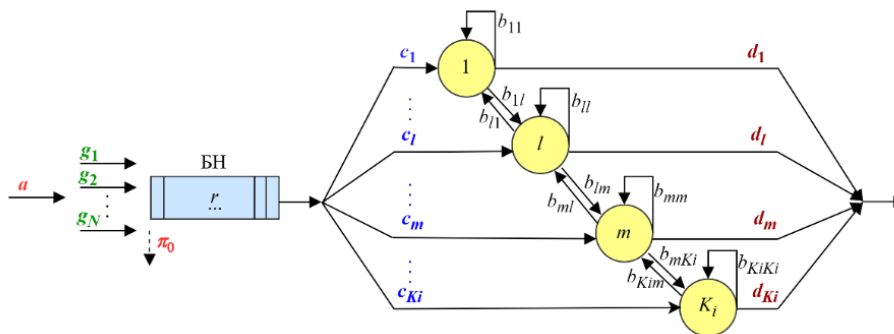


Рисунок 5 – Однолинейная СМО в дискретном времени $Geom_N | PHD_N | 1 | r < \infty | f_0$, с N типами заявок, K этапами

Функционирование предложенной СМО $Geom_N | PHD_N | 1 | r < \infty | f_0$ описывается однородной цепью Маркова φ_n по моментам nh ($n \geq 0$), над пространством состояний $X = \{(0), (i, k, q) : k = \overline{1, K_i}, i = \overline{1, N}, q = \overline{1, R}\}$. Здесь (0) – отсутствие заявок в СМО, i – номер типа обслуживаемой заявки, k – номер этапа, на котором находится i -заявка, q – общее число заявок в системе. Тогда существует стационарное распределение

вероятностей, т.к. в сделанных предположениях φ_n ($n \geq 0$) аperiodична и неразложима.

Пусть \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей рассматриваемой цепи Маркова для пространства состояний X , \mathbf{I} – единичная матрица, $\mathbf{0}^T = (0, \dots, 0)$, $\mathbf{1}^T = (1, \dots, 1)$. Тогда стационарное распределение вероятностей можно найти из СУР:

$$\begin{aligned}
 -ap_0 + \bar{a} \sum_{i=1}^N \mathbf{p}_{i1}^T \mathbf{d}_i &= 0; \\
 \mathbf{p}_{iq}^T (\bar{a} \mathbf{B}_i - \mathbf{I}) + u(2-q) a_i p_0 \mathbf{c}_i^T + u(q-1) a \mathbf{p}_{i,q-1}^T \mathbf{B}_i + a_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{jq}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T + \\
 + \bar{a} g_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{j,q+1}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T &= 0, \text{ где } q = \overline{1, r}; i = \overline{1, N}; i \neq j; \\
 \mathbf{p}_{iR}^T (\mathbf{B}_i - \mathbf{I}) + a \mathbf{p}_{i,R-1}^T \mathbf{B}_i + a_i \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_{jR}^T \mathbf{d}_j) \mathbf{c}_i^T &= 0, \text{ где } i = \overline{1, N}; i \neq j;
 \end{aligned} \tag{2}$$

и нормировочного условия:

$$p_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^R \mathbf{p}_{iq}^T \mathbf{1} = 1, \tag{3}$$

где

$$\begin{aligned}
 \mathbf{p}_{iq}^T &= (p_{i1q}, p_{i2q}, \dots, p_{iKq}); \mathbf{d}_i = (\mathbf{I} - \mathbf{B}_i) \mathbf{1}; \\
 u(q) &= \begin{cases} 0, & q \leq 0; \\ 1, & q > 0; \end{cases}
 \end{aligned}$$

размерности $\mathbf{I} = \text{diag}\{1, 1, \dots, 1\}$ и $\mathbf{1}^T = (1, 1, \dots, 1)$ ясны из контекста.

Для решения СУР (2) и (3) в работе предложен алгоритм, снижающий трудоёмкость вычислений.

Шаг 1. Определим:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B} &= \text{diag}\{\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_N\}, \mathbf{c}^T = (g_1 \mathbf{c}_1^T, g_2 \mathbf{c}_2^T, \dots, g_N \mathbf{c}_N^T), \mathbf{d}^T = (\mathbf{d}_1^T, \mathbf{d}_2^T, \dots, \mathbf{d}_N^T); \\
 \mathbf{p}_q^T &= (\mathbf{p}_{1q}^T, \mathbf{p}_{2q}^T, \dots, \mathbf{p}_{Nq}^T), q = \overline{1, R}.
 \end{aligned}$$

Шаг 2. Рассчитаем при введённых ограничениях (φ_n ($n \geq 0$), неразложима и аperiodична, поэтому стационарное распределение вероятностей существует) стационарное распределение \mathbf{p} по следующим формулам:

$$p_0 = \left[\mathbf{v} \left(\mathbf{I} + \sum_{q=2}^r \mathbf{W}^{q-1} + \mathbf{W}^r \tilde{\mathbf{W}} \right) \mathbf{1} \right]^{-1}; \tag{4}$$

$$\mathbf{p}_q^T = \begin{cases} p_0 \mathbf{v}, & q = 1, \\ p_0 \mathbf{v} \mathbf{W}^{q-1}, & q = \overline{2, r}, \\ p_0 \mathbf{v} \mathbf{W}^r \tilde{\mathbf{W}}, & q = R \end{cases} \tag{5}$$

где

$$\mathbf{v} = a\mathbf{c}^T \mathbf{H}^{-1}(\bar{a}), \quad \mathbf{W} = a\mathbf{B}\mathbf{H}^{-1}(\bar{a}), \quad \tilde{\mathbf{W}} = a\mathbf{B} \left(\mathbf{I} + \frac{a}{\bar{a}} \mathbf{1}\mathbf{c}^T \right) \mathbf{H}^{-1}(1);$$

$$\mathbf{H}^{-1}(z) = (\mathbf{I} - z\mathbf{B})^{-1} + \frac{\bar{z}}{\sum_{i=1}^N g_i B_i(z)} (\mathbf{I} - z\mathbf{B})^{-1} \mathbf{1}\mathbf{c}^T (\mathbf{I} - z\mathbf{B})^{-1};$$

$$B_i(z) = z\mathbf{c}_i^T (\mathbf{I} - z\mathbf{B}_i)^{-1} \mathbf{d}_i, \quad i = \overline{1, N}.$$

Шаг 3. Вычислив по (4) и (5) стационарное распределение вероятностей, получим формулы для расчёта основных ВВХ для оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн при обслуживании заявок на обработку ПДн, а именно:

$$- \text{вероятность } \pi_{\text{потерь}} \text{ потерь заявок в системе: } \pi_{\text{потерь}} = p_R; \quad (6)$$

$$- \text{доля потерянных заявок } Q_{\text{потерь}} \text{ в системе за такт: } Q_{\text{потерь}} = ap_R; \quad (7)$$

$$- \text{среднее время } T \text{ пребывания заявки в системе: } T = \frac{Q}{a(1-p_R)}, \quad (8)$$

$$\text{где } Q = \sum_{q=1}^R q \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K p_{iqk} - \text{среднее число заявок в системе; } p_R = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K p_{iRk};$$

$$- \text{вероятность } \pi_{\text{простоя}} \text{ простоя системы: } \pi_{\text{простоя}} = p_0; \quad (9)$$

$$- \text{коэффициент } U \text{ использования системы: } U = 1 - p_0. \quad (10)$$

Предложенный в диссертации алгоритм позволил снизить трудоёмкость решения СУР и расчёта основных ВВХ не менее, чем на 17%.

Представленные ВВХ рассматривались в качестве основных показателей эффективности функционирования ИСПДн при обработке запросов к ПДн, а именно: способность системы справляться с нагрузкой, время обработки заявок, эффективность загрузки системы.

В диссертации рассматривались пять вариантов организации мультиоблачной архитектуры ИСПДн: на базе единственного корпоративного облака; на базе двух корпоративных облаков; на базе двух корпоративных и n внешних облаков, сервисные ресурсы которых в случае необходимости используются для получения информации о ПДн, $n = \overline{1, 3}$.

Расчёты ВВХ (6) – (10) проводились для функционирования ИСПДн рассматриваемых вариантов архитектур при двух разных сценариях:

1. *Сценарий А* – предполагает, что i -заявка с равной вероятностью c_i попадает на обработку на любой этап k из K этапов. Тогда заявка при обслуживании будет последовательно проходить все этапы, пока не будет получен требуемый результат (ответ на запрос).

2. *Сценарий Б* – предполагает ранжировку обрабатываемых запросов, исходя из типов запросов и категории ПДн, с помощью классического метода экспертных оценок (данная задача не является предметом исследования данной диссертации). В этой ситуации вероятность c_i направления заявки на k облако (этап) будет тем выше, чем функциональные возможности этого k облака больше соответствуют параметрам запроса.

По результатам расчётов построены зависимости ВВХ от вероятности a поступления заявки на СМО, которые позволили проанализировать тенденции поведения системы с разными вариантами архитектур при реализации разных сценариев функционирования (сценарий А и сценарий Б).

Полученные результаты показали, что *сценарий Б* более адекватно отражает поведение ИС с мультиоблачной архитектурой при обслуживании запросов к ПДн. На всех построенных графиках зависимостей прослеживается, что система при вариантах, где количество внешних облаков $n = 2$ и $n = 3$, ведёт себя практически идентично, при этом коэффициент использования системы для варианта $n = 3$ отличается от аналогичного коэффициента для $n = 2$ не более чем на 2 процента.

Проведенный анализ ВВХ показал, что в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой не рекомендуется использовать более двух внешних облаков, поскольку это может привести к усложнению сценариев обработки запросов, увеличению времени обслуживания запроса (в том числе из-за увеличения количества межоблачных взаимодействий) и снижению коэффициента использования системы (избыточная архитектура). Кроме того, из-за усложнения процессов управления процессами обработки запросов в ИСПДн возрастают риски нарушения качества ПДн.

В четвертой главе построена модель предметной области оценки информационных рисков нарушения качества ПДн при их обработке в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, на основе которой разработана математическая модель оценки рисков нарушения качества ПДн, учитывающая: особенности функционирования корпоративной ИСПДн, требования организации к максимально допустимым величинам риска и ущерба, приемлемой стоимости мер по противодействию воздействиям на ИСПДн, и позволяющая свести оценку допустимости рисков к решению оптимизационной задачи. Предложен алгоритм решения поставленной оптимизационной задачи как задачи линейного программирования.

Предложенная декомпозиция ресурсов ИСПДн позволяет реализовать декомпозицию информационных рисков на группы по подсистемам и элементам ИСПДн и задать показатели оценки качества ПДн на каждом уровне модели ИСПДн с учётом её мультиоблачной архитектуры. Это позволяет связать элементы ИСПДн, потенциальные угрозы нарушения качества ПДн и информационные риски.

Для формализации процесса оценки информационных рисков ПДн использован подход к построению семантической модели проблемной области оценки рисков ПДн при их автоматизированной обработке в ИСПДн. В основе данной модели, представленной на рисунке 6, использована разработанная обобщённая схема воздействия на ПДн (рисунок 1). При этом сделаны следующие допущения: данная модель отображает процесс оценки рисков ПДн при их обработке в пределах одного облака мультиоблачной среды ИСПДн; в каждом из облаков рассматриваемой ИСПДн могут храниться различные ПДн, относящиеся к одному субъекту ПДн.

В разработанной модели, которая отражает взаимодействие элементов ИСПДн, угроз, уязвимостей, рисков и их влияние на процесс обработки ПДн, выделены четыре проблемные подобласти – $\varphi 1$, $\varphi 2$, $\varphi 3$, $\varphi 4$.

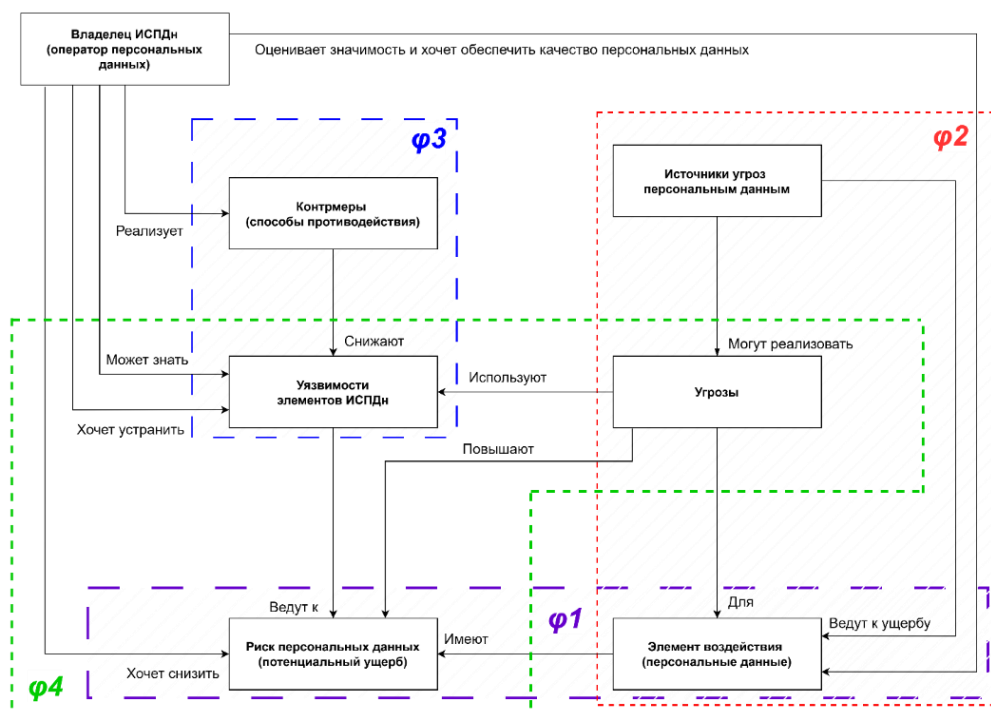


Рисунок 6 – Семантическая модель проблемной области оценки информационных рисков ПДн при их автоматизированной обработке

В соответствии с моделью выделен список определённых множеств для одного облака h ($h = \overline{1, H}$) в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой: $T = \{T_i | i = 1, \dots, I\}$ – множество угроз ПДн; $R = \{\langle E_j, Q_j \rangle | j = 1, \dots, J\}$ – множество информационных рисков ПДн; $V = \{V_d | d = 1, \dots, D\}$ – множество уязвимостей облака h ; $S = \{S_x | x = 1, \dots, X\}$ – множество источников угроз ПДн в облаке h ; $O = \{O_b | b = 1, \dots, B\}$ – множество элементов воздействия на ПДн в облаке h ; $Z = \{\langle F_n, C_n \rangle | n = 1, \dots, N\}$ – множество мер противодействия угрозам ПДн в облаке h , где E_j – событие риска ПДн; Q_j – величина ущерба риска; F_n – реализуемая функция; C_n – стоимость реализации.

Определим:

- $O \times R \xrightarrow{\varphi^1} A$, где $A = \{a | a \geq 0, a \leq 1\}$ – степень критичности реализации риска процессу обработки запроса к ПДн для множества элементов облака h мультиоблачной архитектуры;
- $S \times T \times O \xrightarrow{\varphi^2} U$, где $U = \{u | u \geq 0, u \leq 1\}$ – степень значимости угроз множеству элементов облака h мультиоблачной архитектуры;
- $Z \times V \xrightarrow{\varphi^3} M$, где $M = \{m | m \geq 0, m \leq 1\}$ – степень доступности уязвимостей ИСПДн;
- $T \times V \times R \xrightarrow{\varphi^4} P$, где $P = \{\langle \mathcal{M}^E, \mathcal{T}^Q \rangle | \mathcal{M}^E \geq 0, \mathcal{M}^E \leq 1, \mathcal{T}^Q \geq 0\}$ – потенциал рисков ПДн при наличии множества угроз и уязвимостей облака h мультиоблачной архитектуры.

Тогда будем в модели рассматривать облака как отдельные независимые

объекты и учитывать множество угроз для каждого облака. Таким образом, задача оценки рисков нарушения качества ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой сводится к решению задачи (1) для множества облаков в мультиоблаке $H = \{H_h | h = 1, \dots, H\}$.

При решении данной оптимизационной задачи необходимо учитывать допустимые затраты на использование мер противодействия риску и требования по приемлемому ущербу для каждого облака и мультиоблачной среды в целом.

Представим математическую модель оценки рисков нарушения качества ПДн в виде системы показателей и способов их расчёта для проблемных областей, выделенных на предложенной семантической модели.

Для определения $\varphi 1$ (критичности реализации риска процессу обработки запроса к ПДн) введём показатель *индикатор критичности элемента риска*, который определяет степень связи риска с воздействиями на элемент ИСПДн:

$$A_{bj} = \langle L_w(Q_j), P(A) \rangle, \quad (11)$$

где A_{bj} – индикатор критичности элемента b относительно риска j , $L_w(Q_j)$ – весовой коэффициент риска в зависимости от величины ущерба; $P(A)$ – вероятность возникновения события j -го риска в отношении элемента b .

Для отображения $\varphi 2$ (значимости тех или иных воздействий на качество ПДн) введём показатель *степень значимости угрозы*, вычисляемый по формуле:

$$U_{ixb} = \{X_{xb}^1 \times X_{ix}^2 \times X_{ixb}^3 \times X_{ib}^4 \times \gamma(T_i) | i = 1, \dots, I, x = 1, \dots, X, b = 1, \dots, B\}, \quad (12)$$

где $\gamma(T_i) = \left(\frac{t_K - t_\tau}{t_K - t_H} \right)$, t_H – точка отсчёта оценки рисков; t_K – точка окончания оценки рисков; t_τ – текущий момент времени, U_{ixb} – степень значимости угрозы i от источника x по отношению к элементу b ; X_{xb}^1 – уровень доступности элемента b ИСПДн, на который воздействует источник угрозы x ; X_{ix}^2 – уровень готовности источника x к осуществлению угрозы i ; X_{ixb}^3 – уровень привлекательности осуществления угрозы i для источника x по отношению к элементу b ИСПДн; X_{ib}^4 – уровень критичности последствий реализации угрозы i для элемента b ИСПДн.

Для определения $\varphi 3$ (эффективности мер противодействия угрозам ИСПДн) введём показатель *степень доступности уязвимости*:

$$M_d = \max_{1 \leq n \leq N} ((1 - Y_{dn}) \times K_n), \quad (13)$$

где M_d – степень доступности уязвимости d ; Y_{dn} – степень эффективности n -й меры противодействия угрозам через уязвимость d ; $K_n = \{0, 1\}$ – показатель использования способа n для противодействия угрозам (1 – при использовании способа n для противодействия воздействиям, 0 – в противном случае).

Для определения $\varphi 4$ (критичности уязвимостей) – введём *показатель уровня критичности уязвимости*:

$$H_{dixb} = U_{ixb} \times M_d, \quad (14)$$

где H_{dixb} – показатель уровня критичности уязвимости d при реализации угрозы i от источника x к элементу b .

На основе показателей (11) – (14) рассчитывается *системный риск ПДн* в облаке h , т.е. риск, обладающий максимальным потенциалом в отношении элемента ИСПДн по всем его источникам угроз:

$$P_j = \langle \mathcal{M}_j^E, \mathcal{T}_j^Q \rangle, \quad (15)$$

$$\mathcal{M}_j^E = \max_{d,i,x,b} \mathcal{M}_{dixbj}^E = \max_{d,i,x,b} (H_{dixb} \times A_{bj}); \quad (16)$$

$$\mathcal{T}_j^Q = \max_{d,i,x,b} \mathcal{T}_{dixbj}^Q = \max_{d,i,x,b} (H_{dixb} \times A_{bj} \times Q_j), \quad (17)$$

где P_j – потенциал системного риска j в ИСПДн; \mathcal{M}_j^E – степень реализуемости события риска j в ИСПДн; \mathcal{T}_j^Q – уровень ущерба от системного риска j в ИСПДн; \mathcal{M}_{dixbj}^E – степень реализуемости *единичного события риска* j в ИСПДн; \mathcal{T}_{dixbj}^Q – уровень ущерба от *единичного события* риска j в ИСПДн, определяющие потенциал *единичного риска ПДн* в облаке как пара компонент $P_{dixbj} = \langle \mathcal{M}_{dixbj}^E, \mathcal{T}_{dixbj}^Q \rangle$.

Таким образом, по каждому отдельному облаку мультиоблачной архитектуры ИСПДн определяют наиболее критичные риски нарушения качества ПДн. Эти риски далее должны быть ранжированы по мере убывания и по каждому из них должен быть разработан комплекс организационно-технических мер противодействия (в том числе разработка (доработка) нормативных правовых актов, обучение сотрудников и т.д.).

Для решения оптимизационной задачи (1) по минимизации рисков ПДн необходимо определить критерии оценки риска ПДн после применения мер противодействия с точки зрения эффективности этих мер на основе предлагаемого ниже алгоритма.

Шаг 1. Рассчитаем *консолидированный информационный риск ПДн* в ИСПДн (общий уровень риска ИСПДн с мультиоблачной архитектурой в момент времени), образованный множеством пар:

$$P_\Sigma = \langle \mathcal{M}_\Sigma^E, \mathcal{T}_\Sigma^Q \rangle, \quad (18)$$

где P_Σ – консолидированный информационный риск ПДн в ИСПДн; \mathcal{M}_Σ^E – степень реализуемости события риска; \mathcal{T}_Σ^Q – уровень консолидированного ущерба ИСПДн, который определяется как совокупная сумма потенциальных ущербов соответствующих рисков по всем индексам j :

$$\mathcal{M}_\Sigma^E = \max_j \mathcal{M}_j^E; \quad (19)$$

$$\mathcal{T}_\Sigma^Q = \sum_{j=1}^J \mathcal{T}_j^Q. \quad (20)$$

Шаг 2. Сведём поставленную задачу (1) к следующему виду:

$$\min_{1 \leq n \leq N} \max_{1 \leq i \leq I} P_\Sigma \quad (21)$$

При этом необходимо найти такие K_n ($n=1, \dots, N$), чтобы достигался (21) при ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{M}_j^E \leq \mathcal{M}_{jMAX}^E, j = 1, \dots, J; \\ \mathcal{P}_\Sigma^Q \leq \mathcal{P}_{\Sigma MAX}^Q; \\ \sum_{n=1}^N K_n \times C_n \leq C_{MAX} \end{array} \right. ,$$

где \mathcal{M}_{jMAX}^E – максимально допустимая степень реализуемости события риска; $\mathcal{P}_{\Sigma MAX}^Q$ – максимально допустимый уровень ущерба от наступления события риска; C_{MAX} – максимально допустимая стоимость мер противодействия.

Шаг 3. В рамках такой постановки задачи будем рассматривать показатель остаточного риска (степень доступности уязвимости) после реализации мер противодействия воздействиям на ИСПДн M_d как вектор по n , т.е.:

$$M_d = ((1 - Y_{dn}) \times K_n). \quad (22)$$

Шаг 4 – Шаг 6. Раскрывая показатель консолидированного информационного риска P_Σ , применив (14), (16), (17), (19), (20) и (22), получим два критерия оценки риска.

1. Первый критерий эффективности мер противодействия – критерий оценки уровня информационного риска наиболее критичного после применения n -й группы мер противодействия:

$$\min_{1 \leq n \leq N} \max_{1 \leq i \leq I} \max_j \mathcal{M}_j^E = \min_{1 \leq n \leq N} \left[U^{\max} \times A^{\max} \times \left(\max_d \left((1 - Y_{dn}) \times K_n \right) \right) \right], \quad (23)$$

где $U^{\max} = \max_{i,x,b} U_{ixb}$, $A^{\max} = \max_{b,j} A_{bj}$

2. Второй критерий эффективности мер противодействия – критерий оценки информационного риска наиболее критичного с точки зрения возможного ущерба от его реализации после применения n -й группы мер противодействия:

$$\min_{1 \leq n \leq N} \max_{1 \leq i \leq I} \max_j \sum_{j=1}^J \mathcal{P}_j^Q = \min_{1 \leq n \leq N} \left[\sum_{j=1}^J \left(U^{\max} \times A_j^{\max} \times Q_j \times \max_d \left((1 - Y_{dn}) \times K_n \right) \right) \right], \quad (24)$$

где $U^{\max} = \max_{i,x,b} U_{ixb}$, $A_j^{\max} = \max_b A_{bj}$.

В результате реализации описанных выше шагов исходная задача оценки допустимости рисков нарушения качества ПДн при использовании мер по противодействию воздействиям на ПДн в ИСПДн решается как задача линейного программирования. Разработанная модель позволяет определить не только значимые риски для каждого облака мультиоблачной архитектуры, но и риски, связанные с взаимосвязанностью облаков.

На основании проведённого исследования информационный процесс оценки рисков нарушения качества ПДн в ИСПДн было предложено разделить на следующие этапы: определение исходных данных; построение семантической модели; построение формализованной модели; расчёт показателей для оценки рисков; расчёт рисков; решение оптимизационной задачи; анализ полученных результатов.

Если в текущий период времени не стоит задача оптимизировать риски, можно рассчитать отдельные информационные риски и на основе их анализа оценить

эффективность применяемых мер по организации безопасных процессов обработки ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой.

Предложенный информационный процесс может многократно применяться в процессе управления рисками ПДн, в том числе и после дополнения модели угроз и сценариев воздействий на ПДн.

В заключении сформулированы основные результаты проведённых исследований.

В приложении приводятся результаты расчётов показателей для оценки рисков ПДн.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложен единый системный подход к организации безопасной обработки ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой за счёт унификации информационных процессов, что, в отличие от существующих подходов к реализации данных процессов, позволяет в дальнейшем разработать адекватную подсистему обеспечения качества этих процессов с целью выполнения требований нормативных правовых актов, эффективного использования ресурсов ИСПДн при обработке ПДн и минимизации рисков нарушения их качества.

2. Разработаны сценарии обработки разного типа запросов к ПДн в ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, которые позволили выделить участников всех этапов инициации и обработки запросов, для каждого этапа дать краткое описание и указать формирование задержек на этих этапах, что дало возможность использовать графоматричное моделирование процессов с последующим построением и исследованием модели процесса обработки ПДн в ИСПДн в виде однолинейной СМО конечной ёмкости в дискретном времени с ординарным неоднородным поступающим потоком заявок, распределенным по геометрическому закону, с распределением длительности обслуживания фазового типа.

3. Разработана модель оценки эффективности использования ресурсов ИСПДн с мультиоблачной архитектурой при автоматизированной обработке ПДн, учитывающая, в отличие от известных моделей, обработку запросов к ПДн на основе сценариев и дискретный характер запросов, и позволяющая на основе рассчитанных ВВХ оценить эффективность использования ресурсов системы и обосновать архитектуру ИСПДн. Разработанный алгоритм решения СУР для расчёта основных ВВХ позволил снизить трудоёмкость вычислительного процесса не менее, чем на 17%.

4. Разработана модель оценки рисков нарушения качества ПДн, учитывающая, в отличие от существующих: особенности и условия функционирования корпоративной ИСПДн с мультиоблачной архитектурой, требования к максимально допустимой возможности наступления события риска, максимально допустимому ущербу, а также приемлемой стоимости мер по противодействию воздействиям на ИСПДн, и позволяющая представить задачу оценки допустимости рисков нарушения качества ПДн как многокритериальную оптимизационную задачу. Разработанный алгоритм решения задачи позволил решить поставленную оптимизационную минимаксную задачу в виде задачи линейного программирования.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в изданиях из перечня ВАК РФ

1. *Maklachkova, V. V.* Features of supporting decision making in modern enterprise infocommunication systems / S. V. Pavlov, V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova, S. S. Mytenkov // T-Comm. – 2019. – Vol. 13, No. 3. – P. 71-74. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10252. – EDN VZZCPY (**Перечень рецензируемых научных изданий № 52 от 19.04.2019**).

2. *Маклачкова, В. В.* Цифровизация субъекта персональных данных / В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова, В. Ю. Статъев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14, № 6. – С. 27-32. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-27-32. – EDN XVWYJP (**Перечень рецензируемых научных изданий № 82 от 24.03.2020**).

3. *Maklachkova, V. V.* Classification of personal data security threats in information systems / V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova, V. Yu. Statev // T-Comm. – 2020. – Vol. 14, No. 1. – P. 56-60. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-1-56-60. – EDN QOGYHH (**Перечень рецензируемых научных изданий № 65 от 26.12.2019**).

4. *Маклачкова, В. В.* Информационная безопасность на пространстве "Больших данных" / В. Ю. Статъев, В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 21-28. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-4-21-28. – EDN IXUYWS (**Перечень рецензируемых научных изданий № 91 от 29.03.2022**).

5. *Маклачкова, В. В.* Автоматизация поддержки принятия решений при подборе специалистов по управлению сложными инфокоммуникационными системами / С. В. Павлов, В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова, Д. Д. Гадасин // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 12. – С. 36-43. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-12-36-43. – EDN DWHСMB (**Перечень рецензируемых научных изданий № 129 от 24.10.2023**).

6. *Маклачкова, В. В.* Проблема актуализации данных в CRM-системах / В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова, А. А. Бойко // Экономика и качество систем связи. – 2025. – № 1(35). – С. 45-57. – EDN UGUIWG (**Перечень рецензируемых научных изданий № 1728 от 09.12.2024**).

7. *Маклачкова, В. В.* Применение Entity Component System при создании игр / В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова, И. Д. Удалов // Экономика и качество систем связи. – 2025. – № 1(35). – С. 57-66. – EDN JFOTMC (**Перечень рецензируемых научных изданий № 1728 от 09.12.2024**).

8. *Маклачкова, В. В.* Механизмы обеспечения защищенности данных в распределенных информационных системах / В. А. Докучаев, А. В. Нетребко, В. В. Маклачкова, С. С. Мытенков // Экономика и качество систем связи. – 2025. – № 2(36). – С. 125-134. – EDN INMCRQ. (**Перечень рецензируемых научных изданий № 1728 от 09.12.2024**).

9. *Маклачкова, В. В.* Основные риски персональных данных в мультиоблачных информационных средах // Экономика и качество систем связи. – 2025. – № 3(37). – С. 58-61 (**Перечень рецензируемых научных изданий № 1729 от 05.02.2025**).

Статьи, индексируемые в международных базах WoS/Scopus

10. *Maklachkova, V. V.* Architecture of the regional transport navigation and information systems / V. A. Dokuchaev, E. V. Gorban, V. V. Maklachkova // 2018 Systems of Signals

Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 14–15 марта 2018 года. – Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 8350588-3. – DOI 10.1109/SOSG.2018.8350588. – EDN VCFXXK.

11. *Maklachkova, V. V.* The System of Indicators for Risk Assessment in High-Loaded Infocommunication Systems / V. A. Dokuchaev, E. V. Gorban, V. V. Maklachkova // 2019 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2019, Moscow, 20–21 марта 2019 года. – Moscow, 2019. – P. 8706726. – DOI 10.1109/SOSG.2019.8706726. – EDN WFULUV.

12. *Maklachkova, V. V.* Risks identification in the exploitation of a geographically distributed cloud infrastructure for storing personal data / V. V. Maklachkova, V. A. Dokuchaev, V. Y. Statev // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings, Vienna, 20–22 октября 2020 года. – Vienna, 2020. – P. 9261541. – DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261541. – EDN EQOLNB.

13. *Maklachkova, V. V.* Data subject as augmented reality / V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova, V. Yu. Statyev // Synchroninfo Journal. – 2020. – Vol. 6, No. 1. – P. 11-15. – DOI 10.36724/2664-066X-2020-6-1-11-15. – EDN ULPVZC.

14. *Maklachkova, V. V.* Analysis of Data Risk Management Methods for Personal Data Information Systems / V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova, D. V. Makarova, L. V. Volkova // 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 19–20 марта 2020 года. – Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9078547. – DOI 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078547. – EDN XXGAVW.

15. *Maklachkova, V. V.* Data Risks Identification in Healthcare Sensor Networks / K. Lopatina, V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova // 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2021 - Proceedings, Vienna, 20–22 октября 2021 года. – Vienna, 2021. – DOI 10.1109/EMCTECH53459.2021.9619178. – EDN GAVTTO. 10.1109/EMCTECH58502.2023.10297009. – EDN OETMVX.

16. *Maklachkova, V. V.* Cybersecurity Impact on the Transport Security / V. A. Dokuchaev, V. V. Maklachkova // 2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2023 : Proceedings, Vienna, Austria, 16–18 октября 2023 года. – New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. – P. 10297009. – DOI 10.1109/EMCTECH58502.2023.10297009. – EDN OETMVX.

Монографии (в соавторстве)

17. *Докучаев, В. А.* Архитектура центров обработки данных / В. А. Докучаев, А. А. Кальфа, В. В. Маклачкова. – Москва : Научно-техническое издательство "Горячая линия-Телеком", 2020. – 240 с. – ISBN 978-5-9912-0849-9. – EDN BHARSE.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

18. *Свидетельство* о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615007 Российская Федерация. Программное приложение «Анализатор актуальности угрозы» («Threat Relevance Analyzer» – на английском языке) для определения актуальности угроз персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных : № 2023613955 : заявл. 27.02.2023 : опубл. 09.03.2023 / В. А. Докучаев, В. В. Маклачкова, Д. В. Гадасин [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Фирма «ТЕЛЕСОФТ». – EDN AOOMDG.

19. *Свидетельство* о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660244 Российская Федерация. Программное приложение для оценки эффективности использования ресурсов информационной системы при обработке персональных данных «ИРИС ПД» («ISRU PD» - на английском языке) для расчета аналитических моделей функционирования информационных систем при обработке персональных данных : заявл. 18.04.2025 : опубл. 22.04.2025 / В. В. Маклачкова, В. А. Докучаев, Д. В. Гадасин [et al.] ; заявитель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – EDN GQAKGI.