

*На правах рукописи*

**Лебедева Ксения Евгеньевна**

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(космические и информационные технологии)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (СибГУ им. М.Ф. Решетнева) на кафедре информационно-управляющих систем.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Мурыгин Александр Владимирович**

Официальные оппоненты: **Кравец Алла Григорьевна**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный  
технический университет», г. Волгоград  
профессор кафедры систем автоматизированного  
проектирования и поискового конструирования

**Кузовников Александр Витальевич**  
кандидат технических наук,  
АО «Информационные спутниковые системы  
имени академика М.Ф. Решетнева»,  
г. Железногорск Красноярского края,  
заместитель генерального конструктора по  
разработке космических систем, общему  
проектированию и управлению космическими  
аппаратами

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»,  
г. Красноярск

Защита состоится «19» октября 2018 г. в \_\_\_ часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.249.05, созданного на базе Сибирского  
государственного университета науки и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнева по адресу: 660037 г. Красноярск, проспект имени газеты  
«Красноярский рабочий», 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского  
государственного университета науки и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнева и на сайте <https://www.sibsau.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Панфилов  
Илья Александрович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Системы видеоконференцсвязи активно используются для работы над совместными проектами, в том числе в ракетно-космической отрасли для организации связи между удаленными площадками. Видео-трафик обладает определенными особенностями: требует значительной пропускной способности канала, минимизации времени доставки видеок кадров до получателя, регулярного характера задержек между пакетами. В сферах применения систем видеоконференцсвязи, связанных с точными операциями, важно поддерживать заданный уровень надежности. Транспорт информационных потоков при проведении видеоконференций зачастую осуществляется по открытым телекоммуникационным сетям с использованием стандартных протоколов, поэтому исследования проблем обеспечения информационной безопасности видеоконференций приобретают особую актуальность. Для минимизации вероятности возникновения угроз целостности и доступности предложен метод повышения надежности систем видеоконференцсвязи.

Одним из перспективных решений проблемы обеспечения надежности систем видеоконференцсвязи на сегодняшний день является использование алгоритмов управления доступом к информационным ресурсам с применением технологий распределения (балансировки) нагрузки сети. Оптимальное распределение сетевой нагрузки позволяет обеспечивать заданные характеристики видеоконференцсвязи путем управления информационными потоками. В исследованиях отсутствовала вероятностная модель доступа к информационным ресурсам систем видеоконференцсвязи, позволяющая адекватно описать информационные системы с гарантированной доставкой для авторизованных пользователей. В качестве критерия надежности систем видеоконференцсвязи ранее не рассматривалась вероятность получения доступа к различным ресурсам систем видеоконференцсвязи.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследования в области видеоконференцсвязи проводились в основном зарубежными учеными: С. Zhou, W. Feng, Z. Zhou, X. Tian, J. Tian (Research on audio-video quality evaluation system of video conferencing system), J. Li, J. Wang, W. Wu, L. Chen (Design and implementation of web video conferencing system based on Red5), W. Simpson (Video over IP: IPTV, Internet video, H.264, P2P, WebTV and Streaming: a complete guide to understanding the technology), H. Yan, Z. Sun, L. Zhang, H. Yuan (A scalable video communications framework based on D-bus), S. Braun, J. Taylor (Videoconference and remote interpreting in legal proceedings), B. Furht, S.W. Smoliar, H. Zhang (Video and image processing in multimedia systems), Z. Kang, L. Yian-Feng (Design of H.323-based MC Gateway subsystem for video conference), а также A. Mishra, J. Rosenberg, E. A. Walter, H. XU, Y. ZHOU, M. N. Thapa.

В работах отечественных авторов Синеполова В.С., Цикина И.А. Кривошеи Д.О. и Тупицына В.В. рассматриваются цифровые методы передачи аудио- и видеoinформации в компьютерных сетях, дан анализ состояния работ по компьютерной видеоконференцсвязи в России и рассмотрены основные

проблемы отрасли. В работах Савельева А.И., Прохорова В.В., Манаковой И.П., Кузнецова А.А., Семенова С.Г., Симоненко С.Н. и Мелешко Е.В. предложены способы повышения надежности видеоконференцсвязи

**Целью работы** является повышение надежности систем видеоконференцсвязи.

В соответствии с указанной целью в работе поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Выполнить аналитический обзор существующих способов повышения надежности систем видеоконференцсвязи и моделей доступа к системам видеоконференцсвязи.

2. Разработать компьютерный метод обработки информации, который позволит повысить надежность системы видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений и повысить вероятность получения доступа к ресурсам систем видеоконференцсвязи.

3. Построить вероятностную модель доступа к информационным ресурсам видеоконференцсвязи, позволяющую оценить уровень надежности системы видеоконференцсвязи, и определить вероятность получения доступа к информационным ресурсам.

4. Разработать алгоритм управления доступом к информационным ресурсам, позволяющий повысить надежность видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений.

5. Реализовать алгоритм управления доступом в виде программной системы.

6. Исследовать эффективность предложенного компьютерного метода повышения надежности.

**Методология и методы исследования.** Метод исследований заключается в системном подходе к разработке метода, моделей и алгоритма повышения надежности видеоконференцсвязи. В работе использованы теория массового обслуживания и теория вероятностей. Используемые методы структурного программирования позволили разработать надежное программное обеспечение с применением методов доказательного программирования для систематического анализа правильности алгоритмов и разработки программ без алгоритмических ошибок. Использована современная технология объектно-ориентированного программирования, что в силу модульной структуры программного средства позволяет в будущем осуществлять ее модификацию для дальнейшего увеличения функционала.

**Научная новизна и основные защищаемые положения.** Предмет защиты составляют следующие результаты, полученные лично автором и содержащие элементы научной новизны:

1. Разработан новый компьютерный метод обработки информации, который, путем выделения привилегированного трафика и оптимизации потоков информации, позволяет повысить надежность системы видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений и

повысить вероятность получения доступа к ресурсам систем видеоконференцсвязи;

2. Предложена новая вероятностная модель доступа к информационным ресурсам видеоконференцсвязи (модель верхнего уровня и модель нижнего уровня), позволяющая оценить уровень надежности системы видеоконференцсвязи, и определить вероятность получения доступа к информационным ресурсам;

3. Разработан новый алгоритм управления доступом к информационным ресурсам, основанный на добавлении меток привилегий в служебное поле пакета и изменении маршрута передачи пакетов, позволяющий повысить надежность видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений путем повышения вероятности получения доступа к информационным ресурсам до заданного значения.

**Теоретическая значимость** результатов диссертационной работы заключается в разработке компьютерного метода, моделей доступа и алгоритма повышения надежности видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений. В диссертации формализована задача повышения надежности систем видеоконференцсвязи, разработана вероятностная модель доступа верхнего уровня, позволяющая создавать модели нижнего уровня для оценки надежности различных систем видеоконференцсвязи. Теоретическая значимость исследования определяется актуальностью и новизной рассматриваемых положений, которые расширяют и углубляют научные знания об особенностях работы систем видеоконференцсвязи.

**Практическая значимость.** Разработанные в ходе проведения исследования метод, модели и алгоритм могут применяться для организации надежной видеоконференцсвязи авторизованных пользователей. Результаты работы по повышению надежности были внедрены в образовательный процесс Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». Работа была поддержана грантом по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (соглашение на предоставление гранта от 01 октября 2012 г. № 14.132.21.1800 «Разработка алгоритмов и программных решений организации доступа к мультимедиа конференциям различных типов»).

Программное средство проведения защищенных видеоконференций «Метка привилегий» («VideoLabel») (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013660069 от 23.10.2013) является реализацией алгоритма управления доступом, предложенного в работе, и применяется для повышения надежности системы видеоконференцсвязи на практике. Программное средство прошло апробацию на ФГУП «ГХК», результаты апробации положительные (заключение от 25.05.2017 № 212-01-15-03/1458).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 16 работ, из них 4 публикации в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК, было получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Апробация результатов.** Результаты работы докладывались кафедры информационных управляющих систем и семинарах кафедры безопасности информационных технологий, а также на следующих конференциях:

1. XIV Всероссийская научная конференция «Информационные технологии, системный анализ и управление» (г. Таганрог) – 2016 г.;

2. Российская научная конференция «Интеллектуальные системы в информационном противоборстве» (г. Москва) – 2016 г.;

3. Решетневские чтения: Международная научная конференция (г. Красноярск) – 2008 г., 2009г., 2010г., 2011г., 2012г., 2014г.;

4. Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов (г. Красноярск) – 2009 г., 2010г., 2012г.;

5. XVI Туполевские чтения: международная молодежная научная конференция (г. Казань) – 2008 г.;

6. Актуальные проблемы безопасности информационных технологий: Международная научно-практическая конференция (г. Красноярск) – 2008 г., 2010г.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (157 наименований) и 3 приложений. Общий объем диссертации составляет 161 страница, включающих в себя 7 таблиц и 14 рисунков.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** диссертации отражены актуальность работы, цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, основная идея работы, методология и методы исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту и их достоверность, практическая значимость полученных результатов, апробация результатов работы.

**Первая глава** посвящена рассмотрению проблем и анализу существующих подходов к повышению надежности систем видеоконференцсвязи, а также определены основные термины и технологии видеоконференцсвязи. В диссертационной работе система видеоконференцсвязи рассматривается как совокупность оконечных узлов системы (серверов и клиентов) и каналов связи, соединяющих эти узлы. Под сервером понимается комплекс программно-технических средств и систем, обеспечивающий управление сеансом видеоконференцсвязи. Клиенты также представляют собой комплекс программного и аппаратного обеспечения и являются источником данных системы. Под каналом связи понимается все множество линий связи и средств передачи данных, участвующих в сеансе видеоконференцсвязи. С точки зрения теории массового обслуживания, системы видеоконференцсвязи представляют

собой многоканальные системы массового обслуживания с очередью. Поток пакетов клиентов является простейшим или пуассоновским, так как является стационарным, одинарным и в нем отсутствуют последствия. Ввиду рассмотрения в работе Марковских процессов в дальнейшем используется Марковская модель.

В главе отмечено, что основной проблемой технологии видеоконференцсвязи является обеспечение минимальной скорости передачи данных при поддержании максимальной скорости обработки аудио и видеопотока. Для систем видеоконференцсвязи также актуальна проблема стандартизации: производители используют различные технологии и протоколы плохо совместимые между собой. Несмотря на большое разнообразие систем компьютерной видеоконференцсвязи, на рынке в основном представлены средства зарубежного производства, что делает актуальными исследования в области создания надежных отечественных систем видеоконференцсвязи.

Автором показана необходимость разработки метода обработки информации, который позволит повысить надежность системы видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений. В результате проведения исследований автором определено, что на сегодняшний день отсутствуют вероятностные модели доступа, учитывающие характерные особенности различных систем видеоконференцсвязи. Существующие вероятностные модели традиционно используют в качестве критерия надежности коэффициент готовности, определяющий работоспособность системы и не затрагивающий вопросы целостности и доступности информационных ресурсов. В качестве критерия надежности систем видеоконференцсвязи ранее не рассматривалась вероятность получения доступа к информационным ресурсам систем видеоконференцсвязи. Автором обоснована необходимость разработки вероятностной модели доступа к информационным ресурсам видеоконференцсвязи, позволяющей оценить уровень надежности системы видеоконференцсвязи, и определить вероятность получения доступа к информационным ресурсам.

В главе представлен обзор существующих способов повышения надежности видеоконференцсвязи, к которым в первую очередь относят алгоритмы управления доступом на основе технологий распределения (балансировки) нагрузки сети. В существующих решениях практически не рассматривается задача одновременного разделения пользователей на классы с одновременным распределением нагрузки для привилегированных пользователей. Автором показано, что существует необходимость в разработке алгоритма управления доступом, который будет являться составной частью метода повышения надежности систем видеоконференцсвязи.

**Вторая глава** посвящена разработке нового метода повышения надежности видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений и построению вероятностных моделей доступа к информационным ресурсам систем видеоконференцсвязи, пригодных для оценки надежности таких систем. Модель верхнего уровня позволяет описать

различные системы видеоконференцсвязи, учитывая их характерные особенности. Модель нижнего уровня описывает системы видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений, полученные значения вероятности получения доступа позволяют определить надежность системы, что ранее не рассматривалось.

На первом этапе метода повышения надежности видеоконференцсвязи определяются исходные параметры системы видеоконференцсвязи и требуемый уровень вероятности получения доступа к информационным ресурсам системы видеоконференцсвязи. На втором этапе с целью определения фактического значения вероятности получения доступа строятся модели доступа верхнего и нижнего уровня. На третьем этапе полученные результаты анализируются – происходит сравнение фактического значения вероятности получения доступа с требуемым значением вероятности получения доступа. При необходимости увеличения фактического значения вероятности получения доступа к информационным ресурсам видеоконференцсвязи применяется алгоритм управления доступом, разработанный автором.

Вероятностная модель доступа верхнего уровня, предложенная в работе, основана на понятиях: субъекты, объекты, действия. Для каждого объекта доступным является определенный перечень действий. Отношения субъектов и объектов представлены в табл. 1, где  $\tilde{P}_{ijk}$  – вероятность совершения действия,  $A$  – количество действий, которые можно выполнить над объектом,  $B$  – количество объектов,  $R$  – количество субъектов, чтобы получить доступ, все  $R$  субъектов должны иметь возможность совершить любое из  $A$  допустимых действий с  $B$  объектами.

Таблица 1. Отношение субъектов доступа к объектам доступа

	объект <sub>1</sub>			объект <sub>2</sub>			...	объект <sub>B</sub>		
	субъект <sub>1</sub>	...	субъект <sub>R</sub>	субъект <sub>1</sub>	...	субъект <sub>R</sub>		...	субъект <sub>1</sub>	...
действие <sub>1</sub>	$\tilde{P}_{111}$	...	$\tilde{P}_{R11}$	$\tilde{P}_{121}$	...	$\tilde{P}_{R21}$	...	$\tilde{P}_{1B1}$	...	$\tilde{P}_{RB1}$
действие <sub>2</sub>	$\tilde{P}_{112}$	...	$\tilde{P}_{R12}$	$\tilde{P}_{122}$	...	$\tilde{P}_{R22}$	...	$\tilde{P}_{1B2}$	...	$\tilde{P}_{RB2}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
действие <sub>A</sub>	$\tilde{P}_{11A}$	...	$\tilde{P}_{R1A}$	$\tilde{P}_{12A}$	...	$\tilde{P}_{R2A}$	...	$\tilde{P}_{1BA}$	...	$\tilde{P}_{RBA}$

Вероятность получения каждым субъектом полного доступа к каждому объекту выражена формулой:

$$\tilde{P} = \prod_{i=1}^R \tilde{P}_i . \quad (1)$$

Вероятность получения  $i$ -м субъектом доступа к любому объекту для каждого субъекта:

$$\tilde{P}_i = \prod_{j=1}^B \tilde{P}_{ij} . \quad (2)$$

Вероятность получения доступа субъекта к объекту равна произведению вероятностей всех действий субъекта к объекту:

$$\tilde{P}_{ij} = \prod_{k=1}^A \tilde{P}_{ijk} . \quad (3)$$



Тогда вероятность получения каждым субъектом полного доступа к каждому объекту выражена формулой:

$$\tilde{P} = \prod_{i=1}^R \prod_{j=1}^B \prod_{k=1}^A \tilde{P}_{ijk}. \quad (4)$$

Значение вероятности получения полного доступа определяется на основании статистических данных вероятностей совершения  $k$  действий  $i$  субъектов к  $j$  объектам.

Субъектами вероятностной модели нижнего уровня являются сервер ( $s$ ) и клиент ( $c$ ). Объекты: видео, аудио, файл, сообщение, виртуальная доска (доска). Действия: чтение, запись, создание, редактирование, выполнение, удаление, отправка. Для каждого объекта доступным является определенный перечень действий. Отношения субъектов и объектов представлены в табл. 2, где «-» – действие по отношению к данному объекту не применяется.

Таблица 2. Возможные действия субъектов к объектам

	видео		аудио		файл		сообщение		доска	
	$s$	$c$	$s$	$c$	$s$	$c$	$s$	$c$	$s$	$c$
чтение	$\tilde{P}_{111}$	$\tilde{P}_{211}$	$\tilde{P}_{121}$	$\tilde{P}_{221}$	$\tilde{P}_{131}$	$\tilde{P}_{231}$	$\tilde{P}_{141}$	$\tilde{P}_{241}$	$\tilde{P}_{151}$	$\tilde{P}_{251}$
запись	$\tilde{P}_{112}$	$\tilde{P}_{212}$	$\tilde{P}_{122}$	$\tilde{P}_{222}$	$\tilde{P}_{132}$	$\tilde{P}_{232}$	$\tilde{P}_{142}$	$\tilde{P}_{242}$	$\tilde{P}_{152}$	$\tilde{P}_{252}$
создание	-	-	-	-	$\tilde{P}_{133}$	$\tilde{P}_{233}$	$\tilde{P}_{143}$	$\tilde{P}_{243}$	$\tilde{P}_{153}$	$\tilde{P}_{253}$
редактирование	-	-	-	-	$\tilde{P}_{134}$	$\tilde{P}_{234}$	$\tilde{P}_{144}$	$\tilde{P}_{244}$	$\tilde{P}_{154}$	$\tilde{P}_{254}$
выполнение	-	-	-	-	$\tilde{P}_{135}$	$\tilde{P}_{235}$	$\tilde{P}_{145}$	-	-	-
удаление	-	-	-	-	$\tilde{P}_{136}$	$\tilde{P}_{236}$	$\tilde{P}_{146}$	$\tilde{P}_{246}$	$\tilde{P}_{156}$	$\tilde{P}_{256}$
отправка	$\tilde{P}_{117}$	$\tilde{P}_{217}$	$\tilde{P}_{127}$	$\tilde{P}_{227}$	$\tilde{P}_{137}$	$\tilde{P}_{237}$	$\tilde{P}_{147}$	$\tilde{P}_{247}$	-	-

Критерий надежности системы сформулирован следующим образом:

$$\tilde{P} \rightarrow 1. \quad (5)$$

Вероятность получения каждым субъектом полного доступа к каждому объекту выражена формулой:

$$\tilde{P} = \tilde{P}_1 \cdot \tilde{P}_2, \quad (6)$$

где  $\tilde{P}_1$  – вероятность доступности сервера,  $\tilde{P}_2$  – вероятность доступности клиента.

$$\tilde{P}_{11} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{11k}, \quad \tilde{P}_{12} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{12k}, \quad \tilde{P}_{13} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{13k}, \quad \tilde{P}_{14} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{14k}, \quad \tilde{P}_{15} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{15k}, \quad (7)$$

$$\tilde{P}_{21} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{21k}, \quad \tilde{P}_{22} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{22k}, \quad \tilde{P}_{23} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{23k}, \quad \tilde{P}_{24} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{24k}, \quad \tilde{P}_{25} = \prod_{k=1}^5 \tilde{P}_{25k}. \quad (8)$$

В диссертационной работе принимается допущение: при получении доступа к серверу клиент одновременно получает доступ ко всем информационным ресурсам. Тогда для определения вероятности полного доступа к системе видеоконференцсвязи, состоящей из нескольких серверов и клиентов, необходимо определить вероятность доступности серверов и вероятность доступности клиентов. Вероятность доступности клиентов в рамках решаемой задачи принята равной 1, а вероятность получения доступа к информационным

ресурсам системы видеоконференцсвязи определяется вероятностью доступности серверов.

Состояния сервера: сервер свободен (или сервер обрабатывает заявки, но принимает новые, поступающие идут на обработку); сервер занят обслуживанием заявок и не может больше принимать заявки, все приходящие заявки в очереди, ограниченной по времени (или неисправен). Обозначения:  $P_0$  – вероятность того, что все сервера свободны;  $P_1$  – вероятность того, что один сервер занят, остальные свободны;  $P_n$  – вероятность того, что все сервера заняты, ноль заявок в очереди;  $P_{n+m}$  – вероятность того, что все сервера заняты,  $m$  заявок в очереди (вероятность отказа).

Значение вероятности получения доступа рассчитывается на основе аппарата Марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем. Полученное значение вероятности получения доступа сравнивается с требуемым уровнем вероятности получения доступа, при необходимости повышения уровня вероятности получения доступа с помощью алгоритма управления доступом.

**Третья глава** посвящена разработке алгоритма управления доступом для повышения надежности систем видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений. В работе предложен алгоритм «Метка привилегий», предназначенный для использования в системах, основанных на протоколе ТСП. В стандартном режиме пакеты передаются от источника адресату через любой доступный сервер. В специальном режиме пакеты клиентов модифицируются: пакет содержит метку начала специального режима, метку привилегий и метку последнего специального пакета. После приема пакета происходит проверка наличия метки начала специального режима. Если метка есть – сеть переходит к специальному режиму, иначе пакет доставляется, и принимается новый пакет.

На первом этапе работы алгоритма клиент отправляет пакет с меткой начала специального режима первому серверу в соответствии с таблицей приоритетов серверов. В случае положительного ответа сервера устанавливается соединение, в случае отрицательного ответа – пакет с меткой начала специального режима отправляется следующему серверу. Первый ответивший положительно сервер записывает метку привилегий клиента. Сервера накапливают различные метки привилегий, чтобы определить, насколько они заняты, и отклонить метки привилегий при достижении критического значения. Каждый сервер поддерживает заранее определенное количество таких соединений, на время специального режима клиент закреплен за одним сервером.

Второй этап работы алгоритма является специальным режимом. Отправка всех пакетов клиента происходит через закрепленный сервер. Каждый клиент отправляет данные серверу, за которым он закреплен, сервер перенаправляет данные адресату. Клиент может принимать информацию от любого сервера. Трафик без меток привилегий в специальном режиме не обрабатывается (рис. 1). В специальном режиме происходит обязательная проверка

подлинности метки привилегий, только при положительном результате пакет доставляется адресату.

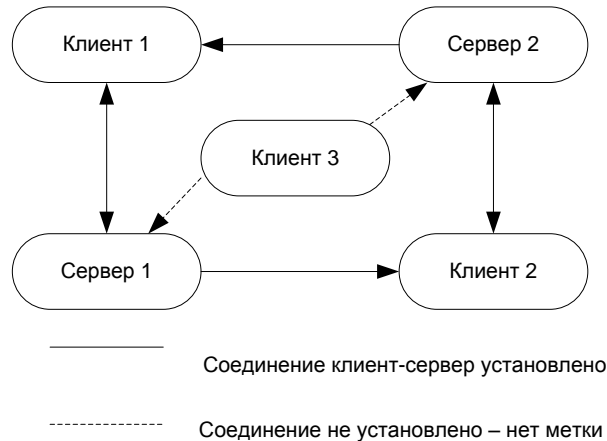


Рисунок 1. Передача данных

На третьем этапе происходит завершение специализированного режима. Клиент отправляет серверу метку последнего пакета, после чего сервер может установить соединение с еще одним клиентом. Алгоритм работы единственного сервера представлен на рис. 2.

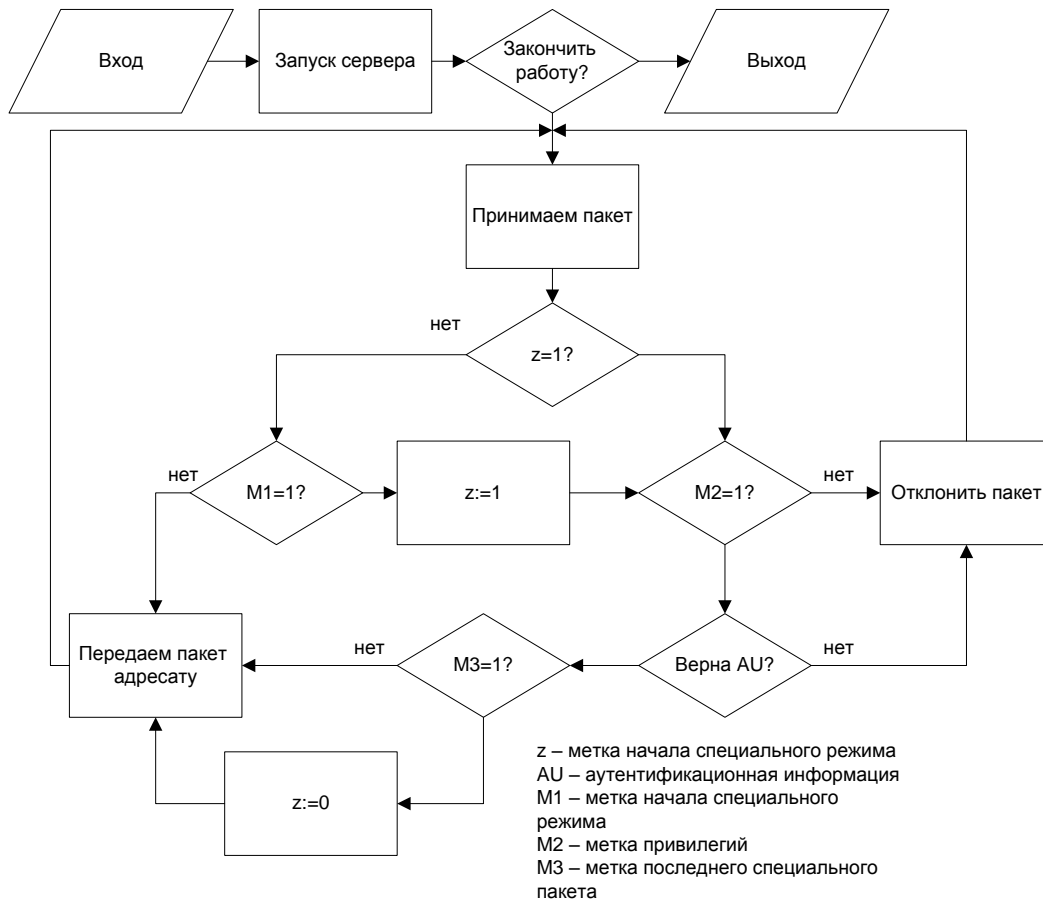


Рисунок 2. Алгоритм работы единственного сервера

Алгоритм «Метка привилегий» реализован на практике в виде программного средства «Метка привилегий» («VideoLabel»), предназначенного для проведения сеансов видеоконференцсвязи. Особенностью «VideoLabel» является встраивание меток привилегий с авторизационной информацией стеганографическими методами. Изменения происходят на уровне TCP пакетов, что потребовало написание собственного механизма обработки пакетов на сетевом уровне. Метка начала специального режима, метка привилегий и метка последнего специального пакета вносятся в служебное поле «Опции», которое расположено со 160 по 192 бит. Программное средство «VideoLabel» предполагает наличие двух видов пользователей:

1. Клиент – при помощи клиентской части приложения авторизуется в системе и получает доступ к видеоконференции, в ходе которой передает и получает информацию.

2. Администратор – управляет настройками сети с помощью серверной части приложения.

Программное средство разработано на языке программирования C++. Для написания кода использовалась среда разработки QDeveloper, поддерживающая кроссплатформенную библиотеку Qt с использованием классов объектов. Программное средство может работать в операционных системах (далее ОС) – семейства Windows и Linux, а также под другими ОС, поддерживаемыми библиотекой Qt. Для кодирования видео используется технология MJPEG, после сжатия кадра авторизационная информация встраивается путём замены отдельных байт. Усовершенствованный продукт в дальнейшем будет включать аппаратную часть, представленную в виде электронных ключей.

**В четвертой главе** приведены модели стандартного и специального режимов алгоритма управления доступом – алгоритма управления нагрузкой сети «Метка привилегий», позволяющие произвести экспериментальную оценку эффективности применения компьютерного метода повышения надежности видеоконференцсвязи с помощью разработанного автором программного обеспечения. Результатом работы программного обеспечения являются таблицы и графики, предназначенные для определения эффективности применения алгоритма «Метка привилегий» в системе видеоконференцсвязи с заданными параметрами.

Оценка эффективности применения компьютерного метода повышения надежности производится путем сравнения стандартного и специального режимов алгоритма управления нагрузкой сети «Метка привилегий». Краткое описание режимов работы алгоритма «Метка привилегий» приведено в Таблице 3.

Таблица 3. Стандартный и специальный режимы

№	Характеристика	Стандартный режим	Специальный режим
1	Принцип работы	Обмен пакетами между клиентами осуществляется через любой сервер.	Клиент передает информацию серверу, за которым закреплен, получает информацию от любого сервера.
2	Время передачи пакета	Время передачи пакета зависит от того, как быстро найдется свободный сервер.	Время передачи пакета для привилегированного клиента минимальное, стабильное и прогнозируемое.
3	Отказы	Пакеты клиентов отклоняются, если все сервера заняты.	Пакеты привилегированных клиентов принимаются, остальные отклоняются.
4	Время связи с сервером	Определяется общим количеством клиентов.	Определяется количеством клиентов, закрепленных за серверами.
5	Система массового обслуживания, имитирующая режим	Система массового обслуживания с ограниченной по времени очередью.	Система массового обслуживания с ограниченной по времени очередью для клиентов с приоритетами и отказами для клиентов без приоритетов.

Модель стандартного режима. Для каждого сервера  $s_i \in S$  определено  $\mu_i$  – скорость обработки заявок, все серверы в системе одинаковы со скоростью обработки заявок  $\mu$ .

$$\forall s_i, s_j \in S : \mu_i = \mu_j = \mu. \quad (9)$$

Для каждого клиента  $c_i \in C$  поступающий поток заявок рассматривается как простой Пуассоновский процесс интенсивности  $\lambda_i$ , все клиенты в системе имеют одинаковые характеристики и создают поток заявок (пакетов) одинаковой интенсивности ( $\lambda$  – общая интенсивность потока от клиентов):

$$\forall c_i, c_j \in C : \lambda_i = \lambda_j = \lambda_1, \quad (10)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i = k \lambda_1. \quad (11)$$

Расчет вероятностей состояния системы:

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \rightarrow P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0, \quad (12)$$

$$\lambda P_1 = 2\mu P_2 \rightarrow \frac{\lambda^2}{\mu} P_0 = 2\mu P_2 \rightarrow P_2 = \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{\mu^2} P_0. \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) определяют значение вероятности  $P_i$  для  $i=1, i=2$ . Данные формулы используются в качестве базы для применения метода математической индукции, для случая  $i=k$ :

$$P_k = \frac{1}{k!} \frac{\lambda^k}{\mu^k} P_0. \quad (14)$$

$$\lambda P_k = (k+1)\mu P_{k+1} \rightarrow P_{k+1} = \frac{1}{k+1} \frac{\lambda}{\mu} P_k = \frac{1}{(k+1)!} \frac{\lambda^{k+1}}{\mu^{k+1}} P_0. \quad (15)$$

Из выражения (15) следует, что формула (14) для  $P_k$  справедлива. Данная формула имеет место для всех  $s_k$ , где  $k \leq n$ .

Для случая  $k > n$ :

$$\lambda P_n = n\mu P_{n+1} \rightarrow P_{n+1} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{n} \cdot P_n. \quad (16)$$

$$\lambda P_{n+1} = n\mu P_{n+2} \rightarrow P_{n+2} = \frac{\lambda^2}{\mu^2} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot P_n. \quad (17)$$

Указанные выражения (16), (17) определяют значение вероятности  $P_i$  для  $i = n+1$ ,  $i = n+2$ , они так же могут быть рассмотрены в качестве базы математической индукции, для  $i = t$ :

$$P_{n+t} = \frac{\lambda^t}{\mu^t} \cdot \frac{1}{n^t} \cdot P_n. \quad (18)$$

$$\lambda P_{n+t} = n\mu P_{n+t+1} \rightarrow P_{n+t+1} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{n} \cdot P_{n+t} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{\lambda^t}{\mu^t} \cdot \frac{1}{n^t} \cdot P_n = \frac{\lambda^{t+1}}{\mu^{t+1}} \cdot \frac{1}{n^{t+1}} \cdot P_n. \quad (19)$$

Из (19) следует, что формула (18) для  $P_t$  справедлива. Данная формула имеет место всех  $s_t$ , где  $t \leq m$ , где  $m$  – длина очереди СМО.

Исходя из полученных расчетов вероятностей состояний системы, справедливы следующие выражения:

$$P_0 + P_1 + \dots + P_n + P_{n+1} + \dots + P_{n+m} = 1, \quad (20)$$

$$P_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i \cdot \frac{1}{i!} \cdot P_0 + \sum_{j=1}^m \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n+j} \cdot \frac{1}{n^j n!} \cdot P_0 = 1. \quad (21)$$

Тогда вероятность «нулевого» состояния системы  $P_0$  ( $\rho = \lambda/\mu$ ):

$$P_0 = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \sum_{j=1}^m \frac{\rho^{j+n}}{n^j n!} \right]^{-1}. \quad (22)$$

Тогда вероятность отказа  $P_{n+m}$  можно представить следующим образом

$$P_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \sum_{j=1}^m \frac{\rho^{n+j}}{n^j n!} \right]^{-1}. \quad (23)$$

Тогда

$$P = 1 - P_{n+m} = 1 - \left( \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \sum_{j=1}^m \frac{\rho^{n+j}}{n^j n!} \right]^{-1} \right). \quad (24)$$

Модель специального режима. В специальном режиме системы все клиенты разделяются на группы. Каждая группа клиентов привязывается к определенному серверу:

$$C = \bigcup_{i=1}^n C_i, \bigcap_{i=1}^n C_i = \emptyset. \quad (25)$$

где  $C_i$  – группы клиентов, привязанные к серверу  $i$ .

Без потери общности рассуждений можно полагать, что клиенты распределяются на равные группы,  $\forall C_i, C_j : M(C_i) = M(C_j) = k/n = \bar{k}$ .

Система в специальном режиме рассматривается как совокупность независимых однородных одноканальных СМО с ограниченной очередью и отказами. В этом случае суммарный поток заявок (пакетов) от группы клиентов  $C_i$  для  $i$ -го сервера равен

$$\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i = k \lambda_1. \quad (26)$$

Интенсивность обработки заявок  $\mu = Const$  для всех состояний системы. Ниже приведен расчет вероятностей состояний системы в специальном режиме:

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \rightarrow P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0. \quad (27)$$

$$\lambda P_1 = \mu P_2 \rightarrow \frac{\lambda^2}{\mu} P_0 = \mu P_2 \rightarrow P_2 = \frac{\lambda^2}{\mu^2} P_0. \quad (28)$$

В результате применения метода математической индукции, получена общая формула расчета вероятности состояния системы для  $P_k$ .

$$P_k = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^k P_0. \quad (29)$$

Отсюда исходя из  $P_0 + P_1 + \dots + P_m = 1$

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^m \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^i \right]^{-1},$$

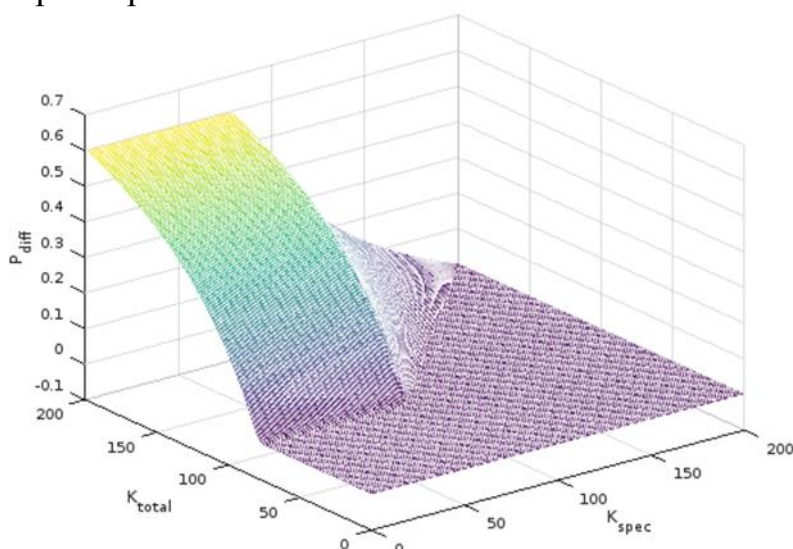
$$P_m = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^m \left[ \sum_{i=0}^m \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^i \right]^{-1} = \rho^m \left[ \sum_{i=0}^m \rho^i \right]^{-1}. \quad (30)$$

Во время проведения сеанса видеоконференцсвязи количество серверов считается неизменным  $n = Const$ , тогда вероятность отказа зависит только от количества клиентов в системе:  $k_{total}$  – общее количество клиентов для стандартного режима,  $k_{spec}$  – общее количество клиентов для специального режима. Оценка эффективности применения алгоритма управления нагрузкой сети «Метка привилегий» выполняется посредством сравнения вероятностей отказа системы видеоконференцсвязи с заданными параметрами в стандартном и специальном режимах:

$$P(k_{total}, k_{spec}) = P_{n+m} - P_m. \quad (31)$$

Специальный режим считается эффективным, когда  $P(k_{total}, k_{spec}) > 0$ . На практике необходимо определить  $k_{total}$  и  $k_{spec}$  при требуемом уровне  $P(k_{total}, k_{spec})$ . На вход программного обеспечения для оценки эффективности алгоритма управления нагрузкой сети «Метка привилегий» подаются следующие параметры: средняя интенсивность поступления пакетов; скорость обработки запросов сервером; длина очереди; коэффициент наполнения очереди; максимум серверов и клиентов. На выходе программное обеспечение выдает график в трех координатах  $(P(k_{total}, k_{spec}), k_{total}, k_{spec})$ .

На рис. 3 приведен график, отражающий целесообразность использования специального режима в системе видеоконференцсвязи, заданной следующими параметрами:



$\rho = \frac{\lambda_1}{\mu} = \frac{1}{16}$  – отношение интенсивности поступления пакетов от одного клиента к интенсивности обработки пакетов сервером.  
 $n = 5$  – количество серверов.  
 $m = \rho^{-1} = 16$  – средняя длина очереди сервера.  
 $K = 200$  – общее количество клиентов.

Рисунок 3. График эффективности применения алгоритма «Метка привилегий»

В Таблице 4 представлена обратная задача: необходимо рассчитать для заданного количества клиентов с привилегиями вероятность пустой очереди и отказа, и сравнить полученные результаты со значением вероятности пустой очереди и отказа для среднего количество клиентов в стандартном режиме.

Таблица 4. Расчет вероятности пустой очереди и отказа

Исходные данные	Пояснение	Единицы измерения	Значение
$\lambda$	Интенсивность пакетов от одного клиента	пакет/секунда	100
$\mu$	Интенсивность обработки одним сервером	пакет/секунда	4000
$n$	Количество серверов	единица	6
$m$	Длина очереди сервера	единица	1
$k$	Количество клиентов	единица	100
Стандартный режим			
$\Lambda$	Суммарная интенсивность от клиентов	пакет/секунда	10000
$P_0$	Вероятность пустой очереди	-	0,083
$P_{отк}$	Вероятность отказа	-	0,012
Специальный режим			
$K$	Количество клиентов с привилегиями	единица	10
$k_1$	Количество клиентов на сервер	единица	1,667
$\Lambda_1$	Интенсивность пакетов на сервер	пакет/секунда	166,667
$P_0$	Вероятность пустой очереди	-	0,958
$P_{отк}$	Вероятность отказа	-	0,002



Из табл. 4 следует, что вероятность отказа при применении алгоритма управления доступом уменьшилась в 6 раз, вероятность пустой очереди увеличилась в 11,542 раза.

На рис. 5 представлены графики зависимости отношения  $k_{spec}$  и  $k_{total}$  для разного количества серверов (от 1 до 10) при заданном значении  $P(k_{total}, k_{spec}) > 0,1$ , из графика видно, что  $k_{spec}/k_{total} \rightarrow 0,9$ .

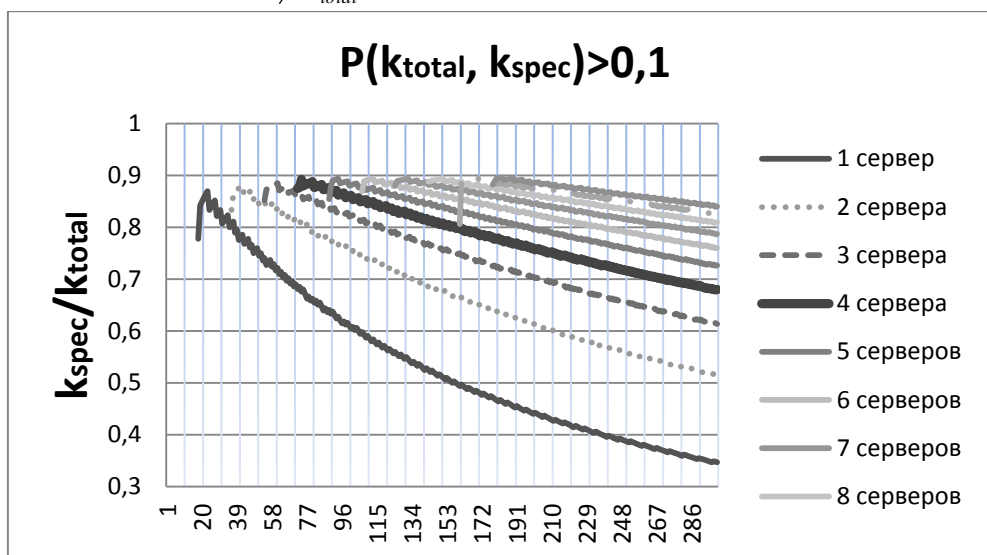


Рисунок 5. График зависимости  $k_{spec}/k_{total}$  при  $P(k_{total}, k_{spec}) > 0,1$

По результатам экспериментов было определено:

$$k_{spec}/k_{total} \rightarrow 1 - P(k_{total}, k_{spec}) \quad (32)$$

Отношение  $k_{spec}/k_{total}$  показывает максимально возможную долю клиентов с привилегиями для повышения вероятности доступа на требуемую величину. С ростом количества серверов значение  $k_{spec}/k_{total}$  растет.

В приложениях представлены графики зависимости максимально возможного количества специальных клиентов при заранее заданном общем количестве клиентов и заданном уровне  $P(k_{total}, k_{spec})$ , полученные таблицы значений  $P(k_{total}, k_{spec})$ , акт опробования программного средства и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В диссертационной работе автором разработан новый компьютерный метод обработки информации, который, путем выделения привилегированного трафика и оптимизации потоков информации, позволяет повысить надежность системы видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений и повысить вероятность получения доступа к ресурсам систем видеоконференцсвязи.

2. Предложены новые вероятностные модели доступа к информационным ресурсам видеоконференцсвязи (модель верхнего уровня и модель нижнего уровня), позволяющие оценить уровень надежности системы видеоконференцсвязи, и определить вероятность получения доступа к информационным ресурсам.

3. Разработан новый алгоритм управления доступом к информационным ресурсам, основанный на добавлении меток привилегий в служебное поле пакета и изменения маршрута передачи пакетов, позволяющий повысить надежность видеоконференцсвязи для авторизованных пользователей с гарантированной доставкой сообщений.

4. Создано программное средство проведения защищенных видеоконференций «Метка привилегий» («VideoLabel») для реализации алгоритма управления доступом информационных ресурсов.

3. Исследована эффективность предложенного компьютерного метода повышения надежности, подтверждено повышение вероятности получения доступа к информационным ресурсам авторизованными пользователями на заданное значение. Возможная доля клиентов с привилегиями при росте количества серверов:  $k_{spec}/k_{total} \rightarrow 1 - P(k_{total}, k_{spec})$ . Исследования показали, что наибольшую эффективность компьютерный метод повышения надежности видеоконференцсвязи показывает при количестве серверов  $n < 10$  и  $P(k_{total}, k_{spec}) < 0,1$ .

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК:**

1. \*Шудрова, К.Е. Организация защищенного канала передачи информации / К.Е. Шудрова, В.Ю. Почкаенко // Программные продукты и системы. – 2012. – № 3. – С. 142-147.
- 2 \*Шудрова, К.Е. Защищенный доступ к системам видеоконференции / К.Е. Шудрова, Р.В. Лебедев, В.Ю. Почкаенко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 1 (47). – С. 100-103.
3. Лебедева, К.Е. Угрозы безопасности систем видео-конференц-связи / К.Е. Лебедева, Р.В. Лебедев // Управление риском. – 2015. – № 2. – С. 25-28.
4. Лебедева, К.Е. Методика повышения надежности видеоконференцсвязи / К.Е. Лебедева, Р.В. Лебедев, А.В. Мурыгин // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – № 2. – Т. 18. – С. 274-282.

**В других изданиях:**

5. \*Шудрова, К.Е. Анализ видов балансировки нагрузки сети / К.Е. Шудрова // Актуальные проблемы безопасности информационных технологий: материалы II Международной научно-практической конференции (9-12 сентября 2008, г. Красноярск). – 2008. – С. 86-90.

6. \*Шудрова, К.Е. Балансировка нагрузки сети на основе привилегированных запросов / К.Е. Шудрова // Решетневские чтения: материалы XII Международной научной конференции (10–12 ноября). – 2008. – С. 394-395.
7. \*Шудрова, К.Е. Исследование уязвимостей метода сетевой трансляции адресов / К.Е. Шудрова // XVI Туполевские чтения: международная молодежная научная конференция, 28-29 мая 2008 г. – 2008. – Т. 3. – С. ?.
8. \*Шудрова, К.Е. Алгоритм балансировки нагрузки сети на основе привилегированных запросов / К.Е. Шудрова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (6–10 апреля 2009, г. Красноярск) в 2 т. – 2009. – Т. 1. – С. 320-321.
9. \*Шудрова, К.Е. Алгоритм распределения нагрузки сети «Метка привилегий» / К.Е. Шудрова // Решетневские чтения: материалы XIII Международной научной конференции (10-12 ноября 2009, г. Красноярск): в 2 ч. – 2009. – Ч. 2. – С. 576-577.
10. \*Шудрова, К.Е. Вейвлет-преобразования видеопотока в алгоритме «Метка привилегий» / К.Е. Шудрова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (12–16 апреля 2010, г. Красноярск). – 2010. – № х. – С. 399-400.
11. \*Шудрова, К.Е. Алгоритм встраивания скрытой информации в видеопоток / К.Е. Шудрова // Решетневские чтения: материалы XIV Международной научной конференции (10-12 ноября 2010, г. Красноярск): в 2 ч. – 2010. – Ч. 2. – С. 567-568.
12. \*Шудрова, К.Е. Программная реализация методики встраивания скрытой информации в видеопоток / К.Е. Шудрова, В.Ю. Почкаенко // Решетневские чтения: материалы XV Международной научной конференции (10-12 ноября 2011, г. Красноярск): в 2 ч. – 2011. – Ч. 2. – С. 670-671.
13. \*Шудрова, К.Е. Методика лабораторных испытаний механизма управления нагрузкой «Метка привилегий» / К.Е. Шудрова, В.Ю. Почкаенко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи (9-14 апреля 2012 г., Красноярск) в 2 т. – 2012. – Т. 1. – С. 383.
14. Лебедева, К.Е. Алгоритмы и программные решения организации защищенного доступа к компьютерным видеоконференциям / К.Е. Лебедева, А.Ю. Томилина // Решетневские чтения: материалы XVIII Международной научной конференции (11-14 ноября 2014, г. Красноярск): в 3 ч. – 2014. – Ч. 2. – С. 320-322.
15. Лебедева, К.Е. Методика повышения надежности для систем видеоконференцсвязи / К.Е. Лебедева, В.В. Золотарев // Информационные технологии, системный анализ и управление: сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Южный федеральный университет) в 2 т. – 2016. – Т. 2. – С. 313-315.

16. Лебедева, К.Е. Методика повышения надежности систем видеоконференцсвязи с гарантированной доставкой сообщений для авторизованных пользователей / К.Е. Лебедева // Интеллектуальные системы в информационном противоборстве: сборник научных трудов Российской научной конференции (ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова») в 2 т. – 2016. – Т. 1. – С. 296-304.

**Зарегистрированные программные системы:**

1. \*Шудрова К.Е., Почкаенко В.Ю., Мурыгин А.В. Программное средство проведения защищенных видеоконференций «Метка привилегий» («VideoLabel»). Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Свидетельство №2013660069 от 23.10.2013.

\*Шудрова К.Е. – фамилия соискателя до вступления в брак

ЛЕБЕДЕВА КСЕНИЯ ЕВГЕНЬЕВНА  
Компьютерный метод повышения надежности видеоконференцсвязи  
Автореферат  
Подписано к печати 06.06.2018. Формат 60x84/16  
Уч. изд. л. 1.0 Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_  
Отпечатано в отделе копировальной и множительной техники  
СибГУ им. М.Ф. Решетнева.  
660037, г. Красноярск, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», 31