

16. Kuzyakina L. S., Sadchikov P. N. Proektirovanie informatsionnoi sistemi blagoustroistva gorodskoi sredi v razreze piramidi potrebnosti [Design of an information system for the improvement of the urban environment in the context of the pyramid of needs]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2024, no 1 (47), pp.132–137.
17. Zvyagintseva A. V. *Teoreticheskie osnovy sobitiinoi otsenki sostoyaniya i razvitiya urbanizirovannikh territorii* [Theoretical Foundations of Event-Based Assessment of the State and Development of Urbanized Territories]. Belgorod; 2018, 486 p.
18. Sergachev A. A., Nikalina A. A. Metodicheskie aspekty otsenki blagoustroennosti pridomovoi territorii na urovne munitsipalnogo upravleniya [Methodological aspects of assessing the improvement of the adjacent territory at the municipal government level]. *Agrotekhnika i energoobespechenie* [Agricultural engineering and energy supply]. 2020, no 3 (28). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-otsenki-blagoustroennosti-pridomovoy-territorii-na-urovne-munitsipalnogo-upravleniya>.
19. Melnikov A. V., Galagan K. V. Metod otsenki effektivnosti meropriyatii po formirovaniyu komfortnoi gorodskoi sredi [Method for assessing the effectiveness of measures to create a comfortable urban environment]. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Kompyuternie tekhnologii, upravlenie, radio-elektronika»* [Bulletin of South Ural State University. Series "Computer Technologies, Control, Radioelectronics"]. 2024, vol. 24, no 1, pp. 87–95. DOI: 10.14529/ctcr240108.
20. Sanzhapov B. Kh. Unarnie ekspertnie otsenki v ierarkhicheskikh sistemakh [Unary expert assessments in hierarchical systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2025, no 1 (51), pp. 111–115.
21. Zaichuk M. B., Mityagin S. A. Povishenie effektivnosti upravlencheskikh reshenii v sisteme kompleksnogo razvitiya territorii zhiloi zastroiki na osnove matematicheskogo modelirovaniya [Improving the efficiency of management decisions in the system of integrated development of residential areas based on mathematical modeling]. *Ekonomika. Pravo. Innovatsii* [Economy. Law. Innovations]. 2025, vol. 13, no 2, pp. 48–63. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-2-48-63>.
22. Sokolov R. V. Modeli upravleniya informatsionnimi riskami v sistemakh uslovnogo dostupa [Models of Information Risk Management in Conditional Access Systems]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics]. 2017, vol. 12, no 4 (70), pp. 15–21.
23. Sukharev O. S. InstitutSIONalnoe modelirovanie v upravlenii ekonomicheskimi sistemami [Institutional modeling in the management of economic systems]. *Problemi teorii i praktiki upravleniya* [Problems of Management Theory and Practice]. 2017, no 10, pp. 38–54.
24. Chernov V. P. Modelirovanie potentsiala ekonomicheskikh vzaimodeistvii [Modeling the Potential of Economic Interactions]. *Sovremennaya ekonomika: problemi i resheniya* [Modern Economy: Problems and Solutions]. 2012, no 9 (33), pp. 191–195.
25. Shanigin S. I. Kontseptualnoe modelirovanie slozhnykh organizatsionno-ekonomicheskikh sistem [Conceptual Modeling of Complex Organizational and Economic Systems]. *Ekonomika i upravlenie* [Economy and Management]. 2008, no 2, pp. 156–159.
26. Maksimcha Ye. A. Ispolzovanie statisticheskikh pokazatelei variatsii pri otsenke ustoychivosti khronoryada [Using Statistical Variation Indicators to Assess the Stability of a Time Series]. *Ekonomika i sotsium* [Economy and Society], 2016, no. 6(25).
27. Peregodov F. I., Tarasenko F. P. *Vvedenie v sistemnyi analiz* [Introduction to Systems Analysis]. Available at: https://systems-analysis.ru/assets/systems_analysis_peregodov.pdf.
28. Yang S. *Sistemnoe upravlenie organizatsiei* [Systems management of the organization]. Available at: https://systems-analysis.ru/assets/systems_analysis_young.pdf.

© К. А. Прошунина, Т. В. Хоменко

Ссылка для цитирования:

Прошунина К. А., Хоменко Т. В. Модель информационного взаимодействия участников системы организации благоустройства территорий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 112–119.

УДК 004

DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-119-126

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ
В СЕТЯХ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТРАФИКА И ПРИОРИТЕТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Л. Р. Тенешев, Н. С. Мальцева

Тенешев Лерон Раилевич, аспирант, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: super.teneshev@mail.ru;

Мальцева Наталия Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Связь», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: maltsevans@mail.ru

В статье рассматривается проблема управления пропускной способностью в мультисервисных сетях связи при высокой динамике трафика. Предложен алгоритм автоматического распределения ресурсов (ARA), основанный на анализе сетевых метрик и приоритетов обслуживания. Алгоритм выполняет сбор статистики, классификацию потоков, прогнозирование загрузки и перераспределение ресурсов в режиме реального времени с использованием принципа взвешенного справедливого квоитирования (WFQ). Проведено имитационное моделирование, подтвердившее эффективность метода: снижение средней задержки и потерь пакетов, повышение равномерности загрузки каналов и уровня SLA-выполнения. Результаты работы могут быть использованы при построении SDN-архитектур операторских сетей и систем управления качеством обслуживания в дата-центрах.

Ключевые слова: QoS, SLA, SDN, WFQ, трафик, приоритеты, распределение ресурсов, 5G.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR AUTOMATIC RESOURCE ALLOCATION
IN COMMUNICATION NETWORKS BASED ON TRAFFIC ANALYSIS AND SERVICE PRIORITIES

L. R. Teneshev, N. S. Maltseva

Teneshev Leron Railevich, post-graduate student, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: super.teneshev@mail.ru;

Maltseva Nataliya Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Communications Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: maltsevans@mail.ru

The article addresses the problem of bandwidth management in multiservice communication networks under high traffic dynamics. An automatic resource allocation (ARA) algorithm based on traffic analysis and service priority assessment is proposed. The algorithm performs data collection, flow classification, load prediction, and real-time resource redistribution using the Weighted Fair Queuing (WFQ) principle. Simulation modeling confirmed the algorithm's effectiveness in reducing average packet delay and loss, improving channel load balancing, and increasing SLA compliance. The results can be applied in SDN-based network architectures and quality of service management systems for data centers.

Keywords: QoS, SLA, SDN, WFQ, traffic, priorities, resource allocation, 5G.

Введение (Introduction)

Современные телекоммуникационные сети функционируют в условиях стремительного роста объемов трафика, увеличения числа подключенных устройств и усложнения архитектуры передачи данных. Развитие технологий 5G, Интернета вещей (IoT) и программно-определяемых сетей (SDN) требует принципиально новых подходов к управлению ресурсами и поддержанию стабильных параметров качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Для операторов связи выполнение соглашений об уровне сервиса (Service Level Agreement, SLA) становится не только показателем технологической зрелости, но и экономическим фактором, напрямую влияющим на удержание абонентов и конкурентоспособность инфраструктуры.

Традиционные методы статического распределения полосы пропускания оказываются неэффективными при высокой изменчивости трафика и динамической загрузке каналов. При появлении пиковых нагрузок или изменении профиля сетевой активности они не способны обеспечить своевременное перераспределение ресурсов между потоками с разными приоритетами. Для обеспечения устойчивого уровня QoS и выполнения SLA необходимы интеллектуальные алгоритмы, способные в реальном времени анализировать состояние сети и адаптировать параметры обслуживания.

Цель исследования – разработка алгоритма автоматического распределения ресурсов в сетях связи на основе анализа трафика и приоритетов обслуживания, обеспечивающего повышение эффективности использования каналов при одновременном соблюдении SLA-показателей. Основные задачи включают определение критериев приоритизации потоков, построение модели перераспределения ресурсов и оценку эффективности предлагаемого подхода в условиях переменной сетевой нагрузки.

Постановка задачи (Problem Statement)

Современные мультисервисные сети связи характеризуются высокой динамикой трафика и неравномерным распределением нагрузки по каналам. При изменении интенсивности передачи данных в различных сегментах сети часть каналов может оказываться перегруженной, что приводит к росту задержек и потерь пакетов, тогда как другие каналы используются не полностью. В результате ухудшаются

показатели качества обслуживания (QoS) и нарушаются соглашения об уровне сервиса (SLA).

Рассмотрим сеть, состоящую из множества каналов:

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}.$$

Каждый из которых имеет максимальную пропускную способность $B_j(\max)$. Через сеть проходят потоки данных:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\},$$

для каждого из которых заданы требуемая полоса пропускания $b_i(\text{req})$, фактическая полоса $b_i(\text{act})$, приоритет обслуживания $p_i \in [1; P]$ (где 1 – минимальный, P – максимальный), а также пороговые значения SLA: максимальная задержка $D_i(\max)$, допустимый уровень потерь $P_i(\max)$ и джиттер $J_i(\max)$.

Текущая загрузка канала определяется соотношением:

$$U_j = (\sum b_i(\text{act})) / B_j(\max) [1, 2], \quad (1)$$

где U_j – загрузка j -го канала; $b_i(\text{act})$ – фактическая выделенная полоса пропускания для потока f_i ; $B_j(\max)$ – максимальная пропускная способность канала l_j ; $\sum b_i(\text{act})$ – суммарная фактическая полоса всех потоков, проходящих через канал l_j .

Таким образом, величина U_j характеризует степень использования ресурса канала в текущий момент времени.

В качестве критерия оптимизации используется функция:

$$\Phi = \sum (U_j - U(\text{opt}))^2, \quad j = 1 \dots n [7], \quad (2)$$

где Φ – целевая функция; U_j – текущая загрузка j -го канала; $U(\text{opt})$ – оптимальный уровень загрузки, обеспечивающий устойчивое функционирование сети (обычно 0,70–0,85).

Задача решается при выполнении системы ограничений:

$$D_i \leq D_i(\max) [17], \quad (3a)$$

$$P_i \leq P_i(\max) [17], \quad (3b)$$

$$\sum b_i(\text{act}) \leq B_j(\max) [2], \quad (3c)$$

$$b_i(\text{act}) \geq 0 [2], \quad (3d)$$

где D_i – фактическая задержка передачи данных для потока f_i ; $D_i(\max)$ – максимально допустимая задержка по SLA; P_i – фактический уровень потерь пакетов; $P_i(\max)$ – допустимый уровень потерь по SLA; $b_i(\text{act})$ – фактически выделенная полоса пропускания; $B_j(\max)$ – максимальная пропускная способность канала l_j ; $\sum b_i(\text{act})$ – суммарная полоса, потребляемая всеми потоками в канале.

При обнаружении перегрузки ресурсы перераспределяются в пользу потоков более высокого приоритета. Новое значение выделенной полосы определяется выражением

$$b_i(new) = b_i(act) + k_p \cdot [b_i(req) - b_i(act)],$$

$$0 \leq k_p \leq 1 [7], \quad (4)$$

где $b_i(new)$ – новое значение полосы пропускания после перераспределения; $b_i(req)$ – требуемая полоса пропускания по SLA; k_p – коэффициент приоритета, определяющий долю перераспределяемого ресурса.

Баланс пропускной способности по каждому каналу сохраняется согласно условию

$$\sum b_i(new) = B_j(max) [6], \quad (5)$$

где $\sum b_i(new)$ – суммарная полоса после перераспределения; $B_j(max)$ – номинальная пропускная способность канала j .

Эффективность работы алгоритма оценивается по совокупности метрик, включающих среднюю задержку передачи данных, уровень потерь пакетов,

коэффициент неравномерности загрузки каналов и долю выполненных SLA-показателей. Снижение указанных параметров свидетельствует о корректной работе системы распределения и ее способности поддерживать стабильные условия передачи данных для различных классов обслуживания.

Таким образом, постановка задачи сводится к необходимости нахождения оптимального вектора распределения ресурсов:

$$b = (b^1(new), b^2(new), \dots, b^m(new)) [7], \quad (6)$$

где b – вектор распределения ресурсов; $b_i(new)$ – новая полоса пропускания i -го потока после перераспределения; m – общее количество потоков данных.

Предложенная формализация служит основой для построения алгоритма автоматического перераспределения ресурсов (ARA), структура которого представлена в виде блок-схемы (рис. 1) и включает этапы сбора статистики, классификации потоков, оценки загрузки каналов, анализа SLA-порогов, перераспределения ресурсов и контроля результатов.

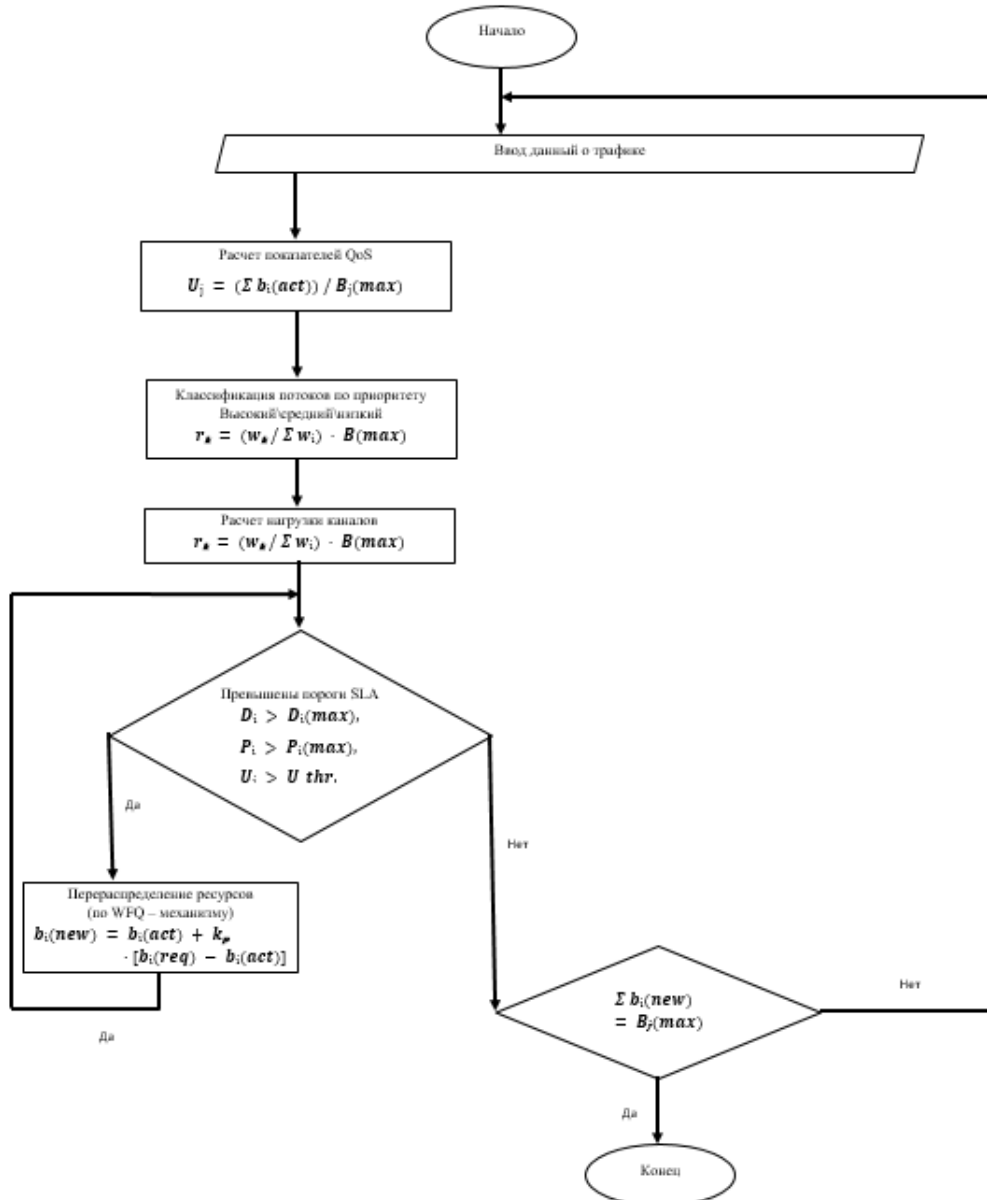


Рис. 1. Блок-схема алгоритма автоматического распределения ресурсов в сетях связи. (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Flowchart of the Algorithm for Automatic Resource Allocation in Communication Networks. (illustration by the authors)

Разработка алгоритма (Algorithm Development)

Разработка алгоритма автоматического распределения ресурсов основывается на вышеописанной модели и требует управления пропускной способностью в реальном времени. Система анализирует состояние сети, классифицирует потоки по приоритетам и перераспределяет ресурсы для предотвращения перегрузок и соблюдения SLA. Алгоритм реализует принцип обратной связи между подсистемами мониторинга и управления: на основании измеренных параметров рассчитывается текущая загрузка, сравнивается с пороговыми значениями, при необходимости выполняется перераспределение пропускной способности, после чего оцениваются достигнутые показатели качества. Общая структура процесса показана на блок-схеме (рис. 1).

На первом этапе алгоритм осуществляет сбор статистики о трафике и загрузке каналов. Для каждого канала рассчитывается текущая загрузка [1]:

$$U_j = (\Sigma b_i(act)) / B_j(max) [1], \quad (7)$$

где U_j – текущая загрузка j -го канала; $\Sigma b_i(act)$ – суммарная фактическая полоса пропускания всех потоков, проходящих через канал j ; $b_i(act)$ – фактическая полоса пропускания i -го потока f_i ; $B_j(max)$ – максимальная (номинальная) пропускная способность канала j .

Для исключения влияния кратковременных всплесков нагрузки значения U_j усредняются в скользящем временном окне длиной T секунд:

$$\bar{U}_j(t) = \left(\frac{1}{T}\right) \cdot \Sigma U_j(\tau), \quad \tau \in [t - T; t] [2], \quad (8)$$

где $\bar{U}_j(t)$ – средняя загрузка j -го канала в момент времени t ; T – длина окна усреднения, s ; $U_j(\tau)$ – измеренное значение загрузки канала в момент времени τ ; $\Sigma U_j(\tau)$ – сумма всех наблюдений загрузки канала внутри окна $[t-T; t]$.

Чтобы система реагировала не только на текущие, но и на ожидаемые изменения нагрузки, используется предиктивный анализ на основе экспоненциального сглаживания:

$$\hat{U}_j(t + 1) = \alpha \cdot U_j(t) + (1 - \alpha) \cdot \hat{U}_j(t), \quad 0 \leq \alpha \leq 1 [5], \quad (9)$$

где $\hat{U}_j(t + 1)$ – прогнозное значение загрузки j -го канала на следующий такт; $U_j(t)$ – текущее значение загрузки канала; $\hat{U}_j(t)$ – сглаженное значение загрузки на предыдущем шаге; α – коэффициент адаптивности, определяющий долю влияния текущего измерения (при больших α система быстрее реагирует на изменения); U_{thr} – пороговое значение загрузки, при превышении которого канал считается перегруженным.

Если выполняется условие $\hat{U}_j(t + 1) > U_{thr}$, система заблаговременно инициирует перераспределение ресурсов, предотвращая развитие перегрузки.

На втором этапе алгоритм выполняет классификацию потоков по типу данных, источнику и требуемому уровню обслуживания. Доля пропускной способности, выделяемая классу C_n , определяется выражением

$$r_k = (w_k / \Sigma w_i) \cdot B(max) [6], \quad (10)$$

где r_k – доля пропускной способности, выделяемая классу обслуживания C_n ; w_k – вес (приоритет) данного класса; Σw_i – сумма весов всех классов обслуживания; $B(max)$ – общая пропускная способность канала или интерфейса, подлежащая распределению.

Для всех классов выполняется условие баланса:

$$\Sigma r_k = B(max) [2], \quad (11)$$

где Σr_k – суммарная выделенная пропускная способность всех классов; $B(max)$ – номинальная пропускная способность канала.

После классификации потоки контролируются на предмет выполнения SLA. Для каждого потока f_i и канала l_j проверяются задержка, потери и загрузка. Если выполняется хотя бы одно из условий [ITU-T Y.1541; RFC 2475]:

$$D_i > D_i(max), \quad (12a)$$

$$P_i > P_i(max), \quad (12b)$$

$$U_j > U_{thr}, \quad (12c)$$

то запускается процедура перераспределения ресурсов, где D_i – фактическая задержка передачи пакетов для потока f_i ; $D_i(max)$ – максимально допустимая задержка по SLA; P_i – фактический уровень потерь пакетов; $P_i(max)$ – допустимый уровень потерь по SLA; U_j – текущая загрузка канала l_j .

Новое значение выделенной полосы для потока рассчитывается по формуле:

$$b_i(new) = b_i(act) + k_p \cdot [b_i(req) - b_i(act)], \quad 0 \leq k_p \leq 1, \quad (13)$$

где $b_i(new)$ – новое значение полосы пропускания для потока f_i после перераспределения; $b_i(act)$ – фактически выделенная в текущий момент полоса; $b_i(req)$ – требуемая полоса пропускания по условиям SLA; k_p – коэффициент приоритета, зависящий от класса обслуживания (чем выше приоритет потока p , тем больше k_p и тем сильнее корректируется выделяемый ресурс).

Следующий этап алгоритма связан с обновлением параметров QoS. После перераспределения ресурсов система заново оценивает ключевые показатели: среднюю задержку, потери пакетов, загрузку каналов и показатель дисбаланса загрузки. Если значения все еще выходят за допустимые пределы, выполняется повторная итерация перераспределения с уточнением весовых коэффициентов.

Дополнительно вводится механизм гарантированного минимального обслуживания для всех потоков, задаваемый ограничением

$$b_i \geq b_i(min) [7, 8], \quad (14)$$

где b_i – фактически выделенная полоса пропускания для потока f_i ; $b_i(min)$ – минимально допустимая полоса пропускания, обеспечивающая базовый уровень обслуживания.

Соблюдение условия (14) предотвращает эффект «голодания» (starvation) низкоприоритетных потоков и гарантирует, что они сохранят доступ к ресурсу даже при высокой общей нагрузке.

Таким образом, предложенный алгоритм автоматического распределения ресурсов сочетает мониторинг состояния сети, классификацию потоков, прогнозирование нагрузки и перераспределение пропускной способности с учетом приоритетов.

Моделирование и результаты (Modeling and Results)

Для оценки эффективности алгоритма автоматического распределения ресурсов было проведено имитационное моделирование в среде NS-3. Модель включала десять маршрутизаторов и сто абонентских узлов с общей пропускной способностью 100 Мбит/с и трафиком, разделенным на три класса: Gold (видеопотоки реального времени), Silver (веб-трафик и интерактивные приложения) и Bronze (фоновая синхронизация и загрузки).

Исходное распределение ресурсов устанавливалось статически, без учета приоритетов. Затем включался разработанный алгоритм ARA, выполняющий перераспределение в реальном времени на основе анализа параметров трафика и SLA-порогов. Средний период обновления статистики составлял 2 с, длительность моделирования – 300 с.

Основными измеряемыми показателями были: средняя задержка передачи пакетов (Delay), вероятность потери пакета (Loss Ratio), коэффициент загрузки каналов (U_i) и доля удовлетворенных SLA-потоков. Для потоков высокого приоритета использовались значения параметров SLA:

$$D_i(max) = 50 \text{ мс}, \quad P_i(max) = 1 \% [17], \quad (15)$$

для потоков среднего приоритета –

$$D_i(max) = 100 \text{ мс}, \quad P_i(max) = 2 \% [17], \quad (16)$$

а для фоновых потоков –

$$D_i(max) = 200 \text{ мс}, \quad P_i(max) = 5 \% [17], \quad (17)$$

где $D_i(max)$ – максимально допустимая задержка передачи пакетов потока f_i ; $P_i(max)$ – максимально допустимая вероятность потерь пакетов.

Значения этих параметров определяют уровень качества обслуживания (QoS) для соответствующих классов приоритета и служат критериями выполнения SLA.

Результаты показали, что алгоритм ARA значительно улучшил качество обслуживания: задержка для класса Gold снизилась с 45 до 18 мс, потери пакетов уменьшились с 2,8 до 0,6 %. Для класса Silver задержка сократилась на 35 %, а фоновые потоки остались в пределах SLA. Средняя загрузка каналов стабилизировалась на уровне $0,78 \pm 0,05$, а доля потоков, удовлетворяющих SLA, увеличилась с 82 до 97 %. Сравнение с базовым методом показало, что ARA обеспечивает равномерное использование пропускной способности и предотвращает перегрузки. Даже при пиковых нагрузках система сохраняла устойчивость. Применение предиктивного

анализа снизило количество перегрузок на 23 %. Таким образом, алгоритм ARA повысил адаптивность сети и улучшил показатели SLA без необходимости ручного управления. Полученные данные могут служить основой для его внедрения в реальных SDN-средах операторов связи и дата-центрах.

Заключение (Conclusion)

В работе рассмотрена проблема автоматического распределения ресурсов в мультисервисных сетях связи, функционирующих в условиях высокой динамики трафика и неоднородной нагрузки. На основе анализа существующих методов управления QoS предложен алгоритм ARA, обеспечивающий перераспределение пропускной способности каналов в реальном времени с учетом приоритетов обслуживания и параметров SLA. Построенная математическая модель позволила формализовать задачу оптимизации и определить ограничения, при которых достигается равновесное состояние сети без перегрузок. Алгоритм объединяет мониторинг параметров трафика, классификацию потоков, прогнозирование нагрузки и перераспределение ресурсов на основе принципа взвешенного справедливого квотирования (WFQ). Введение предиктивного механизма адаптации позволило не только повысить эффективность использования пропускной способности, но и предотвратить перегрузки за счет упреждающего реагирования на изменения сетевой активности. Моделирование показало, что применение ARA снижает средние задержки и потери пакетов, повышает долю потоков, удовлетворяющих SLA-ограничениям, и обеспечивает более равномерную загрузку каналов. Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения алгоритма в SDN-средах операторов связи, дата-центрах и корпоративных сетях, где необходима динамическая балансировка трафика без вмешательства администратора. Алгоритм не требует глубокой модификации сетевой архитектуры и может быть реализован в виде программного модуля в составе контроллера управления QoS. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию предложенного подхода с технологиями машинного обучения для прогнозирования трафика и адаптацию алгоритма к сетям 5G/6G. Это позволит расширить его применение и повысить эффективность распределения ресурсов в масштабируемых телекоммуникационных инфраструктурах нового поколения.

Список литературы

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети : учебное пособие / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 960 с.
2. Столлингс В. Современные компьютерные сети: производительность и качество обслуживания : учебное пособие / В. Столлингс. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 393 с.
3. Attar H. Review and performance evaluation of FIFO, PQ, CQ, FQ, and WFQ algorithms in multimedia wireless sensor networks / H. Attar, M. R. Khosravi, M. Alhihi // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2020. – Vol. 16. – Article ID 1550147720913233. – DOI: 10.1177/1550147720913233. – Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1550147720913233> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
4. Ahmed U. A resource allocation deep active learning based on load balancer for network intrusion detection in SDN sensors / U. Ahmed, J. C.-W. Lin, G. Srivastava // Computer Communications. – 2022. – Vol. 184. – P. 56-63. – DOI: 10.1016/j.comcom.2021.12.012. – Режим доступа: https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-03-13/1647155382_E16189.pdf (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.



5. Brown R. G. Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series / R. G. Brown. – Mineola, NY : Dover Publications, 2004. – 492 p. – Режим доступа: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015004514728> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
6. Demers A. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm / A. Demers, S. Keshav, S. Shenker // Proceedings of ACM SIGCOMM '89. – 1989. – P. 1–12. – Режим доступа: <http://ccr.sigcomm.org/archive/1995/jan95/ccr-9501-shenker.pdf> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
7. Bertsekas D. Data Networks / D. Bertsekas, R. Gallager. – 2nd ed. – Belmont, CA : Athena Scientific, 1992. – 592 p. – Режим доступа: <https://books.google.ru/books?id=4-hFEAAAQBAJ> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
8. Nguyen D. T. Jointly optimized resource allocation for SDN control and forwarding planes in edge-cloud SDN-based networks / D. T. Nguyen, C. H. Pham, K. H. Nguyen, M. Cheriet // Future Generation Computer Systems. – 2023. – Vol. 145. – P. 176–188. – DOI: 10.1016/j.future.2023.03.015. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=BWAAGR> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
9. Cisco Systems. Quality of Service Networking. – Cisco Press, 2018. – 640 p. – Режим доступа: http://users.freenet.am/~file/DownDB/CISCO_PDF/QualityOfService_CISCO.pdf (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
10. Mawlood M. A. Optimizing Weighted Fair Queuing with Deep Reinforcement Learning for Dynamic Bandwidth Allocation / M. A. Mawlood, D. A. Mahmood // Telecom. – 2025. – Vol. 6, no. 3. – Article 46. – DOI: 10.3390/telecom6030046. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2673-4001/6/3/46> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
11. El Gili M. The Effect of Queuing Mechanisms First in First Out (FIFO), Priority Queuing (PQ) and Weighted Fair Queuing (WFQ) on Network's Routers and Applications / M. El Gili, S. A. Talab // Wireless Sensor Network. – 2016. – Vol. 8, no. 5. – P. 77–84. – DOI: 10.4236/wsn.2016.85008. – Режим доступа: https://file.scirp.org/pdf/WSN_2016053115445482.pdf (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
12. Filali A., Milika Z., Cherkaoui S., Kobbane A. Dynamic SDN-based Radio Access Network Slicing with Deep Reinforcement Learning for URLLC and eMBB Services / A. Filali, Z. Milika, S. Cherkaoui, A. Kobbane // Applied Mathematics. Time-Scale (preprint). – 2022. – DOI: 10.48550/arXiv.2202.06435. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/358604051_Dynamic_SDN-based_Radio_Access_Network_Slicing_with_Deep_Reinforcement_Learning_for_URLLC_and_eMBB_Services (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
13. Urooj Z. A survey on resource allocation in software defined networks (SDN) / Z. Urooj, M. A. Shah // Proceedings of the 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC 2017). – 2017. – DOI: 10.23919/ICAC.2017.8082092. – URL: https://www.researchgate.net/publication/320823451_A_survey_on_resource_allocation_in_software_defined_networks_SDN (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
14. Sidoti F. Weight Updating Methods for a Dynamic Weighted Fair Queuing (WFQ) Scheduler // Proceedings of the International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications. – 2006. – 8 p. – DOI: 10.5220/0001567400420049. – Режим доступа: https://www.academia.edu/118921811/Weight_Updating_Methods_for_a_Dynamic_Weighted_Fair_Queueing_WFQ_Scheduler (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
15. McLaughlin K. Fully hardware based WFQ architecture for high-speed QoS packet scheduling / K. McLaughlin, D. Burns, C. Toal, C. McKillen // Integration. – 2012. – Vol. 45, no. 1. – P. 99–109. – DOI: 10.1016/j.vlsi.2011.01.001. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/223203006_Fully_hardware_based_WFQ_architecture_for_high-speed_QoS_packet_scheduling (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
16. Nouruzi A. Smart Resource Allocation Model via Artificial Intelligence in Software Defined 6G Networks / A. Nouruzi, A. Rezaei, A. Khalili, N. Mokari // Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2023). – 2023. – DOI: 10.1109/ICC45041.2023.10279230. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/368387070_Smart_Resource_Allocation_Model_via_Artificial_Intelligence_in_Software_Defined_6G_Networks (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
17. ITU-T. Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. Amendment 1: Revised Appendix VI: Applicability of the Y.1221 transfer capabilities and IETF differentiated services to IP QoS classes. – Geneva : International Telecommunication Union, 2003. – Режим доступа: <https://certificate.moscow/Portals/2/Стандарты/ITU/y-1541.pdf> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
18. Зубишин С. А. Анализ параметров качества функционирования сети и моделей технологии QoS / С. А. Зубишин // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 197 (03). – С. 95–110. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-parametrov-kachestva-funktsionirovaniya-seti-i-modeley-tehnologii-qos> (дата обращения: 29.11.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Данешманд Б. Analysis and evaluation of the effectiveness of methods for ensuring the quality of service for software-defined networks of the standard 5G/IMT-2020 / Б. Данешманд // Russian Technological Journal. – 2021. – Vol. 9, № 5. – С. 14–25. – DOI: 10.32362/2500-316X-2021-9-5-14-25. – Режим доступа: <https://www.rtfj-mirea.ru/jour/article/download/364/301> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Serag R. H. Software Defined Network Traffic Classification for QoS Optimization Using Machine Learning / R. H. Serag, M. S. Abdalzaher, H. A. El Atty Elsayed, M. Sobh // Journal of Network and Systems Management. – 2025. – Vol. 33. – Art. 41. – DOI: 10.1007/s10922-025-09911-6. – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-025-09911-6> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
21. Alashjaee A. M. Optimizing 5G network performance with dynamic resource allocation, robust encryption and Quality of Service (QoS) enhancement / A. M. Alashjaee, S. Kushwaha, H. Alamro, A. A. Hassan, F. Alanazi, A. Mohamed // PeerJ Computer Science. – 2024. – Vol. 10. – Article e2567. – DOI: 10.7717/peerj-cs.2567. – Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11622846/> (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

22. Sharma A. A Novel Dynamic Controller Mapping Approach in Software-Defined Networking to Neutralise Traffic Burst / A. Sharma // SSRN Electronic Journal. – 2022. – January. – DOI: 10.2139/ssrn.4305985. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/366392424_A_Novel_Dynamic_Controller_Mapping_Approach_in_Software-Defined_Networking_to_Neutralise_Traffic_Burst (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
23. Strzeciwlk D. Performance Analysis of a QoS System with WFQ Queuing Using Temporal Petri Nets / D. Strzeciwlk, R. Nakhla, R. Zawislak // Lecture Notes in Computer Science. – 2021. – Vol. 12865. – P. 462–476. – DOI: 10.1007/978-3-030-84340-3_38. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/354654181_Performance_Analysis_of_a_QoS_System_with_WFQ_Queueing_Using_Temporal_Petri_Nets (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
24. Xie Y. Resource allocation for network slicing in dynamic multi-tenant networks: A deep reinforcement learning approach / Y. Xie, Y. Kong, L. Huang, S. Wang // Computer Communications. – 2022. – Vol. 195, № 3. – DOI: 10.1016/j.comcom.2022.09.015. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/363592172_Resource_allocation_for_network_slicing_in_dynamic_multi-tenant_networks_A_deep_reinforcement_learning_approach (дата обращения: 13.12.2025), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.

Reference

1. Tanenbaum E., Wezeroll D. *Kompyuternie seti* [Computer networks]. Saint Petersburg: Piter; 2012, 960 p.
2. Stollings V. *Sovremennie kompyuternie seti: proizvoditelnost i kachestvo obsluzhivaniya* [Modern computer networks: performance and quality of service]. Saint Petersburg: Piter; 2003, 393 p.
3. Attar H. Khosravi M. R., Alhihi M. Review and performance evaluation of FIFO PQ CQ FQ and WFQ algorithms in multimedia wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2020, vol. 16, article ID 1550147720913233. doi:10.1177/1550147720913233. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1550147720913233> (accessed 13 Dec 2025).
4. Ahmed U., Lin J. C. W., Srivastava G. A resource allocation deep active learning based on load balancer for network intrusion detection in SDN sensors *Computer Communications*. 2022, vol. 184, pp. 56–63. doi:10.1016/j.comcom.2021.12.012. Available at: https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-03-13/1647155382_E16189.pdf (accessed 13 Dec 2025).
5. Brown R. G. *Smoothing Forecasting and Prediction of Discrete Time Series* [Smenenie prognozirovanie i predskazanie diskretnih časovyx ryadov]. Mineola NY: Dover Publications, 2004. 492 p. Available at: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015004514728> (accessed 13 Dec 2025).
6. Demers A., Keshav S., Shenker S. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm. *Proceedings of ACM SIGCOMM '89*. 1989, pp. 1–12. Available at: <http://ccr.sigcomm.org/archive/1995/jan95/ccr-9501-shenker.pdf> (accessed 13 Dec 2025).
7. Bertsekas D., Gallager R. *Data Networks*. 2nd ed. Belmont CA: Athena Scientific; 1992, 592 p. Available at: <https://books.google.ru/books?id=4-hFEAAAQBAJ> (accessed 13 Dec 2025).
8. Nguyen D. T., Pham C. H., Nguyen K. H., Cheriet M. Jointly optimized resource allocation for SDN control and forwarding planes in edge-cloud SDN-based networks. *Future Generation Computer Systems*. 2023, vol. 145, pp. 176–188. doi:10.1016/j.future.2023.03.015. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=BWAAGR> (accessed 13 Dec 2025).
9. *Cisco Systems Quality of Service Networking*. Cisco Press; 2018, 640 p. Available at: http://users.freenet.am/~file/DownDB/CISCO_PDF/QualityOfService_CISCO.pdf (accessed 13 Dec 2025).
10. Mawlood M. A., Mahmood D. A. Optimizing Weighted Fair Queueing with Deep Reinforcement Learning for Dynamic Bandwidth Allocation. *Telecom*. 2025, vol. 6, no. 3, art. 46. doi:10.3390/telecom6030046. Available at: <https://www.mdpi.com/2673-4001/6/3/46> (accessed 13 Dec 2025).
11. El Gili M., Talab S. A. The Effect of Queueing Mechanisms First in First Out FIFO Priority Queueing PQ and Weighted Fair Queueing WFQ on Network's Routers and Applications. *Wireless Sensor Network*. 2016, vol. 8, no. 5, pp. 77–84. doi:10.4236/wsn.2016.85008. Available at: https://file.scirp.org/pdf/WSN_2016053115445482.pdf (accessed 13 Dec 2025).
12. Filali A., Milika Z., Cherkaoui S., Kobbane A. Dynamic SDN-based Radio Access Network Slicing with Deep Reinforcement Learning for URLLC and eMBB Services. *Applied Mathematics* (preprint). 2022. doi:10.48550/arXiv.2202.06435. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358604051_Dynamic_SDN-based_Radio_Access_Network_Slicing_with_Deep_Reinforcement_Learning_for_URLLC_and_eMBB_Services (accessed 13 Dec 2025).
13. Urooj Z., Shah M. A. A survey on resource allocation in software defined networks SDN. *Proceedings of the 23rd International Conference on Automation and Computing ICAC 2017*. 2017. doi:10.23919/ICAC.2017.8082092. Available at: https://www.researchgate.net/publication/320823451_A_survey_on_resource_allocation_in_software_defined_networks_SDN (accessed 13 Dec 2025).
14. Sidoti F. Weight Updating Methods for a Dynamic Weighted Fair Queueing WFQ Scheduler. *Proceedings of the International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications*. 2006. doi: 10.5220/0001567400420049. Available at: https://www.academia.edu/118921811/Weight_Updating_Methods_for_a_Dynamic_Weighted_Fair_Queueing_WFQ_Scheduler (accessed 13 Dec 2025).
15. McLaughlin K., Burns D., Toal C., McKillen C. Fully hardware based WFQ architecture for high-speed QoS packet scheduling. *Integration*. 2012, vol. 45, no. 1, pp. 99–109. doi:10.1016/j.vlsi.2011.01.001. Available at: https://www.researchgate.net/publication/223203006_Fully_hardware_based_WFQ_architecture_for_high-speed_QoS_packet_scheduling (accessed 13 Dec 2025).
16. Nouruzi A., Rezaei A., Khalili A., Mokari N. Smart Resource Allocation Model via Artificial Intelligence in Software Defined 6G Networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications ICC 2023*. 2023. doi: 10.1109/ICC45041.2023.10279230. Available at: https://www.researchgate.net/publication/368387070_Smart_Resource_Allocation_Model_via_Artificial_Intelligence_in_Software_Defined_6G_Networks (accessed 13 Dec 2025).
17. ITU-T Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services. Amendment 1: Revised Appendix VI: Applicability of the Y.1221 transfer capabilities and IETF differentiated services to IP QoS classes. Geneva: International Telecommunication Union; 2003. Available at: <https://certificate.moscow/Portals/2/Стандарты/ITU/y-1541-.pdf> (accessed 13 Dec 2025).
18. Zubishin S. A. Analiz parametrov kachestva funkcionirovaniya seti i modellei tekhnologii QoS [Analysis of network performance parameters and QoS technology models]. *Nauchnii zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University]. 2021, no. 197 (03), pp. 95–110. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-parametrov-kachestva-funkcionirovaniya-seti-i-modelei-tehnologii-qos> (accessed 29 November 2025).



19. Daneshmand B. Analysis and evaluation of the effectiveness of methods for ensuring the quality of service for software-defined networks of the standard 5G/IMT-2020. *Russian Technological Journal*. 2021, vol. 9, no. 5, pp. 14–25. DOI: 10.32362/2500-316X-2021-9-5-14-25. Available at: <https://www.rty-mirea.ru/jour/article/download/364/301> (accessed 13 December 2025).
20. Serag R. H., Abdalzaheer M. S., El Atty Elsayed H. A., Sobh M. Software Defined Network Traffic Classification for QoS Optimization Using Machine Learning. *Journal of Network and Systems Management*. 2025, vol. 33, art. 41. DOI: 10.1007/s10922-025-09911-6. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-025-09911-6> (accessed 13 December 2025).
21. Alashjaee A. M., Kushwaha S., Alamro H., Hassan A. A., Alanazi F., Mohamed A. Optimizing 5G network performance with dynamic resource allocation, robust encryption and Quality of Service (QoS) enhancement. *PeerJ Computer Science*. 2024, vol. 10, article e2567. DOI: 10.7717/peerj-cs.2567. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11622846/> (accessed 13 December 2025).
22. Sharma A. A Novel Dynamic Controller Mapping Approach in Software-Defined Networking to Neutralise Traffic Burst. *SSRN Electronic Journal*. January 2022. DOI: 10.2139/ssrn.4305985. Available at: https://www.researchgate.net/publication/366392424_A_Novel_Dynamic_Controller_Mapping_Approach_in_Software-Defined_Networking_to_Neutralise_Traffic_Burst (accessed 13 December 2025).
23. Strzeciwiłk D., Nakhla R., Zawiślak R. Performance Analysis of a QoS System with WFQ Queuing Using Temporal Petri Nets. *Lecture Notes in Computer Science*. 2021, vol. 12865, pp. 462–476. DOI: 10.1007/978-3-030-84340-3_38. Available at: https://www.researchgate.net/publication/354654181_Performance_Analysis_of_a_QoS_System_with_WFQ_Queueing_Using_Temporal_Petri_Nets (accessed 13 December 2025).
24. Xie Y., Kong Y., Huang L., Wang S. Resource allocation for network slicing in dynamic multi-tenant networks: A deep reinforcement learning approach. *Computer Communications*. 2022, vol. 195, no. 3. DOI: 10.1016/j.comcom.2022.09.015. Available at: https://www.researchgate.net/publication/363592172_Resource_allocation_for_network_slicing_in_dynamic_multi-tenant_networks_A_deep_reinforcement_learning_approach (accessed 13 December 2025).

© Л. Р. Тенешев, Н. С. Мальцева

Ссылка для цитирования:

Тенешев Л. Р., Мальцева Н. С. Разработка алгоритмов автоматического распределения ресурсов в сетях связи на основе анализа трафика и приоритетов обслуживания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 119–126.

УДК 004.932.2:004.931

DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-126-134

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ
В СРЕДЕ МЕССЕНДЖЕРА НА БАЗЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ EFFICIENTNETV3**

И. А. Соловьева, И. Б. Муравьев, Д. С. Соловьев

Соловьева Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования и информационных технологий, Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, тел.: + 7 (4752) 72-34-34; e-mail: good.win32@yandex.ru;

Муравьев Иван Борисович, магистрант, Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, тел.: + 7 (4752) 72-34-34; e-mail: ivanmuravjov@gmail.com;

Соловьев Денис Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры математического моделирования и информационных технологий, Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, тел.: + 7 (4752) 72-34-34; e-mail: solovjevdenis@mail.ru

Объектом исследования является система детектирования синтетических изображений лиц в условиях мессенджеров. Мотивация работы обусловлена рисками распространения фейковых аккаунтов и дезинформации, возникающими при использовании генеративных моделей. В основе метода лежит математическая модель бинарной классификации на архитектуре EfficientNetV3, интегрированная в полный конвейер обработки изображений с этапами детекции лиц, кадрирования и нормализации. При обучении применялись техники дообучения, агрессивной аугментации и регуляризации. В результате достигнута точность классификации 92,5 % и ROC-AUC 98 % на сбалансированной выборке. Система демонстрирует устойчивость к JPEG-сжатию до уровня качества 60 % с потерей точности менее 3 %. Разработанный Telegram-бот подтвердил работоспособность модели в условиях, имитирующих реальное применение.

Ключевые слова: синтетические изображения лиц, детектирование, математическая модель, EfficientNetV3, мессенджер, бинарная классификация, программный комплекс, обработка изображений, система, Telegram-бот.

**MATHEMATICAL MODEL AND SOFTWARE COMPLEX FOR A SYNTHETIC FACE IMAGE DETECTION SYSTEM
IN MESSENGER ENVIRONMENTS BASED ON EFFICIENTNETV3 CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK**

I. A. Solovyeva, I. B. Muravyev, D. S. Solovyev

Solovyeva Inna Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mathematical Modeling and Information Technologies Department, Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russian Federation, phone: + 7 (4752) 72-34-34; e-mail: good.win32@yandex.ru;