DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ IOT И SMART CITY

Мурадова А.А., *PhD, доцент,*
E-mail: a.muradova1982@inbox.ru,
Садчикова С.А., *к.т.н., доцент,*
E-mail: sadchikova047@gmail.com,
кафедра «Телекоммуникационный инжиниринг»,
Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада аль-Хорезми

Аннотация. *В статье рассматриваются современные интеллектуальные системы мониторинга и управления телекоммуникационными сетями в условиях развития технологий Интернета вещей (IoT) и концепции Smart City. Исследуются особенности построения централизованных центров управления сетями (Network Operations Center, NOC), обеспечивающих непрерывный контроль состояния сетевой инфраструктуры, сбор и обработку телеметрических данных, обнаружение неисправностей и управление сетевыми ресурсами. Рассматриваются методы оценки надёжности и качества функционирования телекоммуникационных сетей на основе таких параметров, как задержка передачи данных, потери пакетов, пропускная способность и доступность сетевых узлов. Особое внимание уделяется применению методов машинного обучения, включая Random Forest, XGBoost и рекуррентные нейронные сети LSTM, для выявления аномалий и прогнозирования возможных отказов оборудования. Предложен концептуальный подход к интеграции интеллектуальных алгоритмов в архитектуру централизованного мониторинга NOC. Показана перспективность использования интеллектуальных систем управления для повышения надёжности, устойчивости и эффективности функционирования телекоммуникационной инфраструктуры Smart City.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Internet of Things (IoT) va Smart City konsepsiyasini rivojlantirish kontekstida telekommunikatsiya tarmoqlarini monitoring qilish va boshqarish uchun zamonaviy intellektual tizimlar ko‘rib chiqiladi. Unda tarmoq infratuzilmasini uzluksiz monitoring qilish, telemetriya ma’lumotlarini to‘plash va qayta ishlash, nosozliklarni aniqlash va tarmoq resurslarini boshqarishni ta’minlaydigan markazlashtirilgan tarmoq operatsiyalari markazlari (NOC) dizayni o‘rganiladi. Ma’lumotlar uzatish kechikishi, paketlarning yo‘qolishi, o‘tkazuvchanlik va tarmoq tugunlarining mavjudligi kabi parametrlarga asoslangan telekommunikatsiya tarmoqlarining ishonchliligi va ishlashini baholash usullari ko‘rib chiqiladi. Anomaliyalarni aniqlash va uskunalarning potentsial nosozliklarini bashorat qilish uchun Random Forest, XGBoost va LSTM takroriy neyron tarmoqlarini o‘z ichiga olgan mashina o‘rganish usullarini qo‘llashga alohida e’tibor qaratiladi. Markazlashtirilgan NOC monitoring tizimining arxitekturasiga intellektual algoritmlarni integratsiyalashning kontseptual yondashuvi taklif etiladi. Smart City telekommunikatsiya infratuzilmasining ishonchliligi, barqarorligi va samaradorligini oshirish uchun intellektual boshqaruv tizimlaridan foydalanish salohiyati namoyish etiladi.*

Abstract. *This article examines modern intelligent systems for the monitoring and management of telecommunication networks in the context of the development of Internet of Things (IoT) technologies and the Smart City concept. It explores the specifics of establishing centralized Network Operations Centers (NOCs), which ensure continuous oversight of network infrastructure, the collection and processing of telemetry data, fault detection, and the management of network resources. Methods for assessing the reliability and performance quality*

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

of telecommunication networks – based on parameters such as data transmission latency, packet loss, bandwidth, and network node availability – are discussed. Particular attention is given to the application of machine learning techniques, including Random Forest, XGBoost, and Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural networks, for anomaly detection and the prediction of potential equipment failures. A conceptual approach to integrating intelligent algorithms into the architecture of a centralized NOC monitoring system is proposed. The study demonstrates the potential of using intelligent management systems to enhance the reliability, resilience, and operational efficiency of telecommunication infrastructure within a Smart City.

Ключевые слова: *телекоммуникационные сети, интеллектуальный мониторинг, управление сетью, Интернет вещей (IoT), Smart City, Network Operations Center (NOC), машинное обучение, прогнозирование отказов.*

Kalit so‘zlar: *telekommunikatsiya tarmoqlari, aqlli monitoring, tarmoq boshqaruvi, internet ashyolari (IoT), aqlli shahar, tarmoq operatsiyalari markazi (NOC), mashinani o‘rganish, nosozliklarni bashorat qilish.*

Keywords: *telecommunication networks, intelligent monitoring, network management, Internet of Things (IoT), Smart City, Network Operations Center (NOC), machine learning, failure prediction.*

Введение. В условиях стремительного развития информационно-коммуникационных технологий телекоммуникационные сети становятся важнейшей составляющей современной цифровой инфраструктуры. Расширение цифровых сервисов, увеличение объёмов передаваемой информации, развитие Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и концепции интеллектуального города (Smart City) предъявляют повышенные требования к производительности, надёжности, доступности и безопасности телекоммуникационных систем. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка интеллектуальных систем мониторинга и управления сетевой инфраструктурой, обеспечивающих непрерывный контроль её технического состояния и оперативное реагирование на возникающие неисправности [1].

Современные телекоммуникационные сети представляют собой сложные многоуровневые системы, включающие каналы передачи данных, сетевое оборудование, серверные комплексы, беспроводные сегменты, базовые станции и многочисленные IoT-устройства. Функционирование таких сетей сопровождается постоянным изменением сетевой нагрузки, пропускной способности каналов, задержек передачи данных, уровня потерь пакетов и других параметров качества обслуживания (Quality of Service, QoS). При увеличении количества подключённых устройств традиционные методы централизованного контроля и ручного управления становятся недостаточно эффективными, поскольку не всегда позволяют своевременно выявлять отклонения и предотвращать возможные отказы оборудования [2].

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение интеллектуальных центров управления сетями (Network Operations Center, NOC). Такие центры обеспечивают централизованный мониторинг состояния телекоммуникационной инфраструктуры, сбор и обработку сетевой информации, визуализацию текущих параметров функционирования оборудования, выявление аварийных ситуаций и координацию процессов восстановления работоспособности сети. Использование современных программно-аппаратных средств позволяет осуществлять круглосуточный контроль сетевых ресурсов и повышать эффективность управления телекоммуникационной инфраструктурой.

Особое значение интеллектуальные системы мониторинга приобретают в инфраструктуре Smart City, где функционирование городских информационных сервисов

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

зависит от устойчивой работы большого количества взаимосвязанных устройств и телекоммуникационных платформ. Системы интеллектуального освещения, видеонаблюдения, управления транспортом, экологического мониторинга, коммунального хозяйства и общественной безопасности формируют значительные потоки данных, требующие своевременной передачи, обработки и анализа. Нарушение функционирования отдельных элементов сети может привести к снижению качества предоставляемых услуг и нарушению работы городских цифровых сервисов [3].

Перспективным решением является интеграция технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы мониторинга и управления телекоммуникационными сетями. Применение интеллектуальных алгоритмов позволяет анализировать большие объёмы сетевых данных, выявлять закономерности изменения параметров сети, обнаруживать аномальные состояния, прогнозировать возможные отказы оборудования и определять оптимальные стратегии управления сетевыми ресурсами. В частности, использование методов машинного обучения и нейронных сетей способствует переходу от традиционного реактивного управления к прогнозирующему и адаптивному мониторингу.

Целью данной статьи является исследование современных интеллектуальных систем мониторинга и управления телекоммуникационными сетями в условиях развития технологий IoT и Smart City, а также анализ возможностей применения методов искусственного интеллекта для повышения надёжности, устойчивости и эффективности функционирования сетевой инфраструктуры [4]. Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих задач: анализ архитектуры и принципов функционирования центров управления телекоммуникационными сетями NOC; исследование особенностей мониторинга IoT-инфраструктуры в системах Smart City; определение основных параметров оценки состояния и качества функционирования сети; рассмотрение методов интеллектуального анализа сетевых данных и прогнозирования отказов; разработка концептуальной модели интеллектуального мониторинга и управления телекоммуникационной инфраструктурой.

Научная значимость исследования заключается в рассмотрении комплексного подхода к мониторингу телекоммуникационных сетей, основанного на объединении технологий IoT, централизованного управления NOC и интеллектуальных методов анализа данных. Практическая значимость работы состоит в возможности применения рассматриваемых подходов для повышения надёжности телекоммуникационной инфраструктуры, сокращения времени обнаружения неисправностей и обеспечения стабильного функционирования цифровых сервисов Smart City [5].

Методы исследования. Для исследования интеллектуальных систем мониторинга и управления телекоммуникационными сетями в условиях развития технологий IoT и Smart City использован комплекс теоретических и практических методов, позволяющих оценить состояние сетевой инфраструктуры, качество передачи данных и эффективность интеллектуального управления сетевыми ресурсами.

В качестве основного подхода рассматривается комплексный анализ архитектуры телекоммуникационной сети, включающей сетевое оборудование, каналы передачи данных, серверные платформы, IoT-устройства и централизованный центр управления Network Operations Center (NOC). 1. Метод системного анализа. Применяется для исследования структуры телекоммуникационной сети, определения взаимосвязей между её компонентами и анализа процессов централизованного мониторинга. Рассматриваются основные элементы инфраструктуры: маршрутизаторы, коммутаторы, серверы, базовые станции, шлюзы IoT и конечные сенсорные устройства [6]. 2. Метод математического моделирования. Используется для количественной оценки показателей функционирования

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

телекоммуникационной сети. В качестве основных параметров рассматриваются: задержка передачи данных; вероятность потери пакетов; пропускная способность канала; коэффициент доступности сети; надёжность передачи информации; уровень загрузки сетевых ресурсов [7].

Для оценки надёжности передачи данных может использоваться следующая зависимость:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

где: R(t) – вероятность безотказной работы сети за время t; λ – интенсивность отказов; t – время функционирования системы.

3. Метод мониторинга сетевых параметров. Предусматривает непрерывный сбор и анализ информации о состоянии телекоммуникационной инфраструктуры. Для этого могут применяться протоколы SNMP, NetFlow, Syslog и средства сетевого мониторинга Zabbix. Полученные данные используются для определения текущего состояния оборудования, выявления перегрузок каналов и обнаружения неисправностей. 4. Методы машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Для повышения эффективности мониторинга рассматривается применение алгоритмов машинного обучения, позволяющих обнаруживать аномалии и прогнозировать возможные нарушения функционирования сети. В частности, могут использоваться: Random Forest – для классификации состояния сетевых устройств; алгоритм XGBoost – для определения факторов, влияющих на надёжность сети; LSTM (Long Short-Term Memory) – для прогнозирования изменения сетевых параметров во времени; методы кластеризации – для выявления групп устройств с аналогичными характеристиками функционирования [8].

5. Метод сравнительного анализа. Используется для оценки эффективности традиционного и интеллектуального подходов к управлению телекоммуникационными сетями. Сравнение проводится по следующим критериям: время обнаружения неисправностей, точность выявления аномалий, количество отказов, доступность сети и качество передачи данных. 6. Метод имитационного моделирования. Предусматривает создание модели телекоммуникационной сети Smart City с использованием программных средств MATLAB, NS-3 или Cisco Packet Tracer. В модели рассматривается взаимодействие IoT-устройств с сетевой инфраструктурой и центром управления NOC. Проводится анализ изменения параметров сети при различных уровнях нагрузки, возникновении отказов и применении интеллектуальных алгоритмов управления [9].

Обобщённая схема методологии исследования. Сбор данных IoT-устройств (Датчики, шлюзы, сетевые узлы) → Центр мониторинга NOC (Сбор, обработка и визуализация данных) → Интеллектуальный анализ (ML, LSTM, обнаружение аномалий) → Оценка надёжности и QoS (Задержка, потери пакетов, доступность) → Адаптивное управление сетью (Оптимизация ресурсов и предупреждение отказов) [10, 11]. Таким образом, сочетание методов системного анализа, математического моделирования, сетевого мониторинга, машинного обучения и имитационного моделирования позволяет комплексно исследовать процессы функционирования телекоммуникационных сетей. Предлагаемая методология ориентирована на повышение эффективности централизованного управления, своевременное обнаружение неисправностей и обеспечение требуемого уровня надёжности IoT-инфраструктуры Smart City [12].

Результаты и обсуждение. В результате проведённого исследования рассмотрены современные подходы к построению интеллектуальных систем мониторинга и управления телекоммуникационными сетями в условиях развития технологий Интернета вещей (IoT) и концепции Smart City. Установлено, что увеличение количества подключённых устройств, рост объёмов передаваемых данных и повышение требований к качеству

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

телекоммуникационных услуг обусловливают необходимость внедрения централизованных и интеллектуальных механизмов управления сетевой инфраструктурой.

В качестве основного направления совершенствования процессов управления предложено использование интеллектуального центра мониторинга Network Operations Center (NOC), обеспечивающего централизованный сбор, обработку, анализ и визуализацию информации о состоянии телекоммуникационной сети. Такая архитектура позволяет объединить данные от сетевого оборудования, серверов, маршрутизаторов, коммутаторов, базовых станций и IoT-устройств в единую систему управления [13].

Особое внимание уделено контролю основных параметров качества функционирования сети. К ним относятся задержка передачи данных, потери пакетов, пропускная способность каналов связи, загрузка сетевого оборудования и доступность отдельных сетевых узлов.

Для комплексной оценки состояния телекоммуникационной инфраструктуры предлагается использовать интегральный показатель надёжности сети:

$$R_{net} = \sum_{i=1}^{n} w_i R_i, \quad (2)$$

где: R_{net} – интегральный показатель состояния сети; R_i – нормированное значение отдельного показателя надёжности; w_i – весовой коэффициент соответствующего параметра; n – количество учитываемых параметров.

При этом выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1. \quad (3)$$

В качестве входных параметров модели могут использоваться доступность сетевых узлов, качество передачи данных, уровень потерь пакетов, задержка и загрузка каналов связи. Такой подход позволяет получить обобщённую оценку текущего состояния сети и определить необходимость принятия управляющих решений.

Применение интеллектуальных алгоритмов мониторинга. Важным результатом исследования является обоснование целесообразности применения методов машинного обучения для анализа сетевых параметров. В частности, алгоритмы Random Forest и XGBoost могут использоваться для классификации состояния сетевых устройств, а рекуррентные нейронные сети LSTM – для прогнозирования изменения параметров телекоммуникационной сети во времени. Использование интеллектуального анализа данных позволяет перейти от традиционного мониторинга, основанного преимущественно на регистрации уже возникших неисправностей, к прогнозирующему управлению. Например, при постепенном увеличении задержки передачи данных, росте потерь пакетов или снижении пропускной способности система может определить вероятность возникновения перегрузки и сформировать предупреждение для оператора NOC.

Таблица 1

Сравнение традиционного и интеллектуального мониторинга

Критерий	Традиционный мониторинг	Интеллектуальный мониторинг
Контроль сети	По заданным порогам	Адаптивный анализ
Обнаружение отказов	После возникновения	Возможность прогнозирования
Анализ данных	Статистический	На основе ML и нейросетей
Реагирование	Преимущественно ручное	Автоматизированное
Управление ресурсами	По фиксированным правилам	С учётом текущего состояния сети
Обработка аномалий	По заранее заданным условиям	Выявление сложных закономерностей

Результаты сравнительного анализа показывают, что интеллектуальный подход обладает более широкими функциональными возможностями благодаря использованию алгоритмов прогнозирования и адаптивного управления. Вместе с тем его эффективность

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

зависит от качества исходных данных, корректности обучения моделей и вычислительных ресурсов системы. На рисунке 1 показан Центр управления и мониторинга телекоммуникационной сети (Network Operations Center, NOC).



Рис. 1. Центр управления и мониторинга телекоммуникационной сети (NOC – Network Operations Center)

Это специализированный диспетчерский центр, предназначенный для круглосуточного контроля, управления и обеспечения надёжной работы телекоммуникационной инфраструктуры.

Основные функции центра NOC: 1. Мониторинг состояния телекоммуникационных сетей в режиме реального времени. 2. Контроль сетевого оборудования, серверов и каналов связи. 3. Обнаружение и устранение сетевых неисправностей. 4. Контроль качества передачи данных (QoS). 5. Анализ сетевого трафика и загрузки каналов. 6. Обеспечение информационной безопасности и непрерывности работы сети. Также такой центр может использоваться для управления инфраструктурой Smart City, IoT и корпоративными телекоммуникационными сетями. Ниже представлены график зависимости показателя надёжности сети от уровня потерь пакетов и сравнительная диаграмма традиционного и интеллектуального мониторинга (рис. 2 и рис. 3). Для построения использована упрощённая модель: $R=1-P_{loss}$, где: R – нормированная надёжность доставки пакетов; P_{loss} – доля потерянных пакетов. Например, при потерях пакетов 5% показатель успешной доставки составляет 95%.

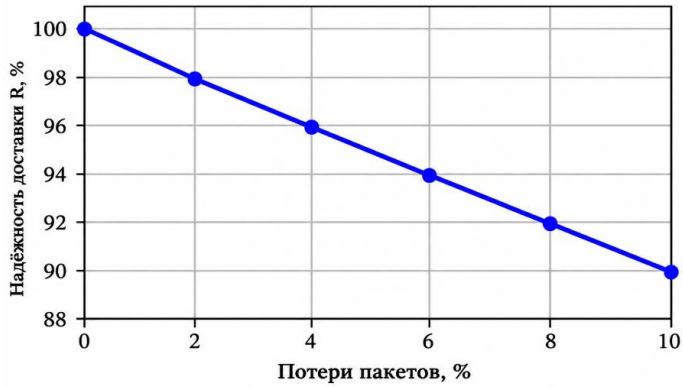

Рис. 2. График зависимости показателя надёжности доставки данных от уровня потерь пакетов в телекоммуникационной сети

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

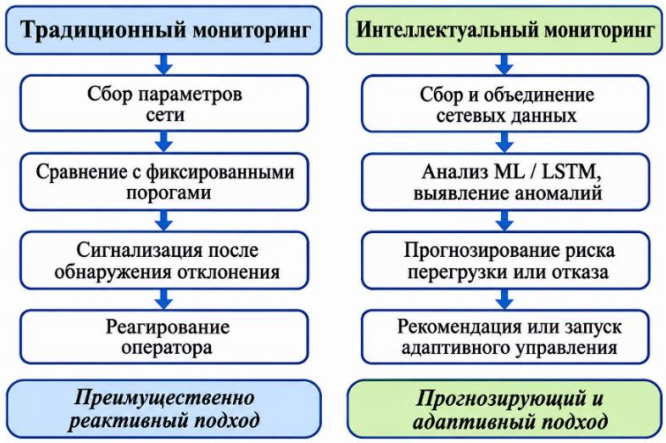

Рис. 3. Диаграмма сравнения принципов функционирования традиционной и интеллектуальной систем мониторинга телекоммуникационных сетей

На диаграмме представлены два подхода: традиционный мониторинг: сбор параметров → проверка порогов → обнаружение неисправности → реагирование оператора. Интеллектуальный мониторинг: сбор данных → анализ ML/LSTM → прогнозирование отказов → адаптивное управление. Представленные графические зависимости демонстрируют взаимосвязь между качеством передачи данных и надёжностью функционирования телекоммуникационной сети. При увеличении уровня потерь пакетов наблюдается снижение показателя успешной доставки информации. Это подтверждает необходимость постоянного контроля параметров сетевой инфраструктуры. Сравнение традиционного и интеллектуального мониторинга показывает, что применение алгоритмов машинного обучения позволяет расширить возможности обнаружения аномалий и прогнозирования потенциальных отказов. В отличие от традиционного подхода, интеллектуальная система способна анализировать динамику изменения сетевых параметров и формировать рекомендации по адаптивному управлению ресурсами.

Обсуждение результатов. Предлагаемый подход имеет особое значение для телекоммуникационной инфраструктуры Smart City, в которой одновременно функционируют многочисленные системы видеонаблюдения, интеллектуального освещения, управления транспортом, экологического мониторинга и коммунального хозяйства. Централизованная архитектура NOC позволяет оператору получать общую информацию о состоянии городской телекоммуникационной инфраструктуры, определять наиболее загруженные участки сети и своевременно выявлять нарушения в передаче информации.

Интеграция интеллектуальных алгоритмов в систему управления обеспечивает следующие преимущества: повышение оперативности обнаружения сетевых неисправностей; возможность прогнозирования отказов сетевого оборудования; снижение риска перегрузки каналов передачи данных; более эффективное распределение сетевых ресурсов; повышение устойчивости передачи информации от IoT-устройств; улучшение качества предоставляемых телекоммуникационных услуг. Результаты исследования подтверждают перспективность интеграции централизованного мониторинга NOC с интеллектуальными методами анализа данных. Совместное применение технологий IoT, машинного обучения и адаптивного управления создаёт основу для формирования более надёжной, устойчивой и эффективно управляемой телекоммуникационной инфраструктуры Smart City.

Выводы. В результате проведённого исследования рассмотрены современные подходы к построению интеллектуальных систем мониторинга и управления

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

телекоммуникационными сетями в условиях развития технологий Интернета вещей (IoT) и концепции Smart City.

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы. 1. Установлено, что развитие технологий IoT и Smart City приводит к существенному увеличению количества подключённых устройств и объёмов передаваемой информации, что повышает требования к надёжности, производительности и доступности телекоммуникационных сетей. 2. Показано, что использование централизованных центров управления Network Operations Center (NOC) позволяет обеспечить комплексный мониторинг сетевой инфраструктуры, включая контроль состояния оборудования, каналов передачи данных, серверных платформ и IoT-устройств.

3. Рассмотрена возможность применения математических методов оценки надёжности телекоммуникационных сетей на основе таких параметров, как задержка передачи данных, потери пакетов, пропускная способность и доступность сетевых узлов. Установлена важность комплексного анализа указанных характеристик для определения текущего состояния сети.

4. Обоснована перспективность применения методов машинного обучения, в частности Random Forest, XGBoost и LSTM, для выявления аномальных состояний, анализа изменения сетевых параметров и прогнозирования возможных отказов оборудования. 5. На основе сравнительного анализа традиционного и интеллектуального мониторинга определено, что интеллектуальный подход обеспечивает дополнительные возможности прогнозирования неисправностей и адаптивного управления сетевыми ресурсами. Это позволяет перейти от преимущественно реактивного управления к предупреждению потенциальных нарушений функционирования сети. 6. Рассмотрена концептуальная модель взаимодействия IoT-устройств, телекоммуникационной инфраструктуры и центра управления NOC. Предложенный подход может применяться при организации мониторинга интеллектуальных городских систем, включая видеонаблюдение, транспортную инфраструктуру, интеллектуальное освещение и системы экологического контроля. Таким образом, интеграция интеллектуальных алгоритмов анализа данных, технологий IoT и централизованного мониторинга NOC является перспективным направлением совершенствования телекоммуникационных сетей. Использование подобных решений создаёт условия для повышения устойчивости сетевой инфраструктуры, своевременного обнаружения неисправностей и более эффективного распределения сетевых ресурсов. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой математической модели интеллектуального мониторинга на основе рекуррентных нейронных сетей LSTM, проведением имитационного моделирования телекоммуникационной сети Smart City и экспериментальной оценкой эффективности прогнозирования отказов IoT-устройств.

Список литературы

1. Kurose J.F., Ross K.W. Computer networking: A top-down approach. – 8th ed. – Hoboken: Pearson, 2021. – 764 p.

2. Tanenbaum A.S., Wetherall D.J. Computer networks. – 5th ed. – Boston: Pearson Prentice Hall, 2011. – 933 p.

3. Voas J. Networks of ‘Things’: NIST Special Publication 800-183. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2016. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-183.

4. ITU-T Recommendation Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. – Geneva: ITU, 2019.

5. ITU-T Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. – Geneva: ITU, 2011.

6. ITU-T Recommendation Y.4200. Requirements for the interoperability of smart city platforms. – Geneva: ITU, 2018.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.21

7. Harrington D., Presuhn R., Wijnen B. An architecture for describing Simple Network Management Protocol (SNMP) management frameworks: RFC 3411. – IETF, 2002. – DOI: 10.17487/RFC3411.

8. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780. – DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

9. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2016.

10. Al-Selwi S.M., Hassan M.F., Abdulkadir S.J. et al. RNN-LSTM: From applications to modeling techniques and beyond – Systematic review // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. – 2024. – Vol. 36, No. 5. – 102068. – DOI: 10.1016/j.jksuci.2024.102068.

11. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45. – P. 5–32. – DOI: 10.1023/A:1010933404324.

12. ITU-T Recommendation Y.4000/Y.2060. Overview of the Internet of things. – Geneva: ITU, 2012. – 22 p.

13. Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach. – 4th ed. – Hoboken: Pearson, 2021.