УДК 654

Исследование алгоритмов управления инцидентами и конфигурацией с применением имитационного моделирования

А. О. Казарова, Э. В. Логин, Г. А. Машковцев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: *Казарова А. О., Логин Э. В., Машковцев Г. А.* Исследование алгоритмов управления инцидентами и конфигурацией с применением имитационного моделирования // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 2. — С. 545–552. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-545-552

Аннотация

Цель: Разработка имитационной модели управления инцидентами и конфигурацией телекоммуникационной сети (ТКС) с последующим сравнительным анализом различных сценариев функционирования. **Методы:** Разработка имитационной модели проводилась в программе AnyLogic, также использовался вероятностный подход для моделирования различных событий. **Результаты:** Разработано 3 сценария: работа двух алгоритмов вместе, работа алгоритма управления инцидентами, работа алгоритма управления конфигурацией. Выявлено, что комплексное применение алгоритмов обеспечивает наименьшее среднее время реализации цикла управления. Также исследовано влияние изменения вероятности Pw на поведение модели и эффективность работы алгоритмов. **Практическая значимость:** Разработанная модель может быть применена в реальных условиях при проектировании систем автоматизированного управления ТКС. Она позволяет прогнозировать эффективность работы различных подходов к управлению, оптимизировать процессы реагирования на инциденты, а также обосновать внедрение алгоритмов на объектах связи.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, управление, инцидент, конфигурация, алгоритм, телекоммуникационная сеть, среда AnyLogic, модель, сценарий, вероятностный параметр.

Введение

Телекоммуникационные сети (ТКС) являются неотъемлемой частью критически важных инфраструктур, обеспечивая устойчивую связь, передачу данных и координацию технологических процессов. Повышение уровня автоматизации и цифровизации предъявляет новые требования к управлению сетевыми инцидентами и конфигурацией оборудования. В условиях динамичной сетевой среды и высокой плотности трафика крайне важным становится минимизация времени восстановления системы при возникновении сбоя.

В данной работе рассматривается подход к моделированию процессов управления инцидентами и конфигурацией ТКС в среде AnyLogic. Построена имитационная модель, основанная на разработанных алгоритмах автоматического реагирования, и проведены эксперименты для оценки среднего времени восстановления системы в сценариях. Полученные результаты позволяют оценить эффективность применения отдельных и совместных алгоритмов, а также дают основу для обоснованного выбора оптимальной стратегии реагирования в условии инцидентов.

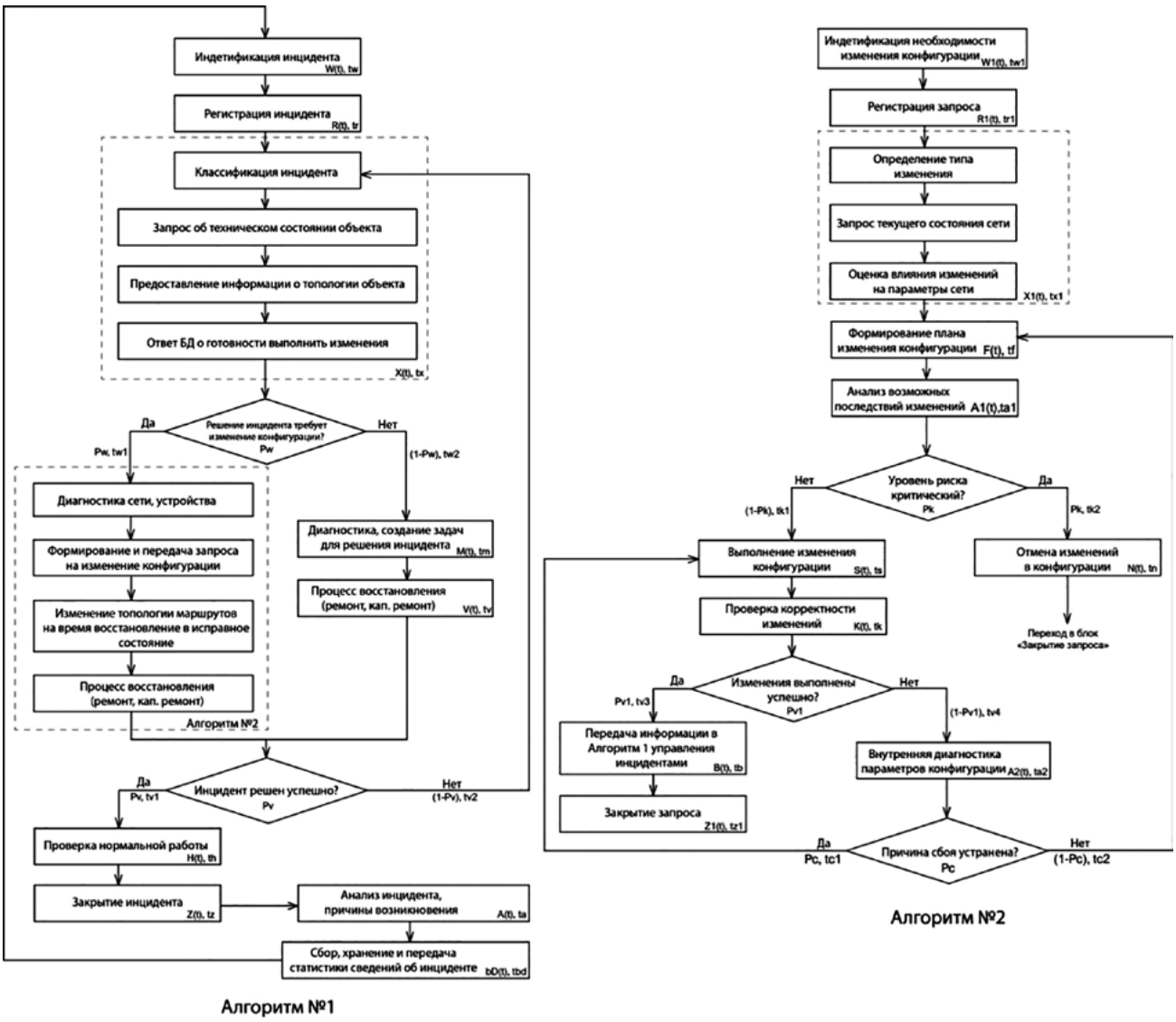

Рис. 1. Алгоритмы управления инцидентами (алгоритм 1) и управления конфигурацией (алгоритм 2)

Основная часть

Процессы управления конфигурацией и инцидентами неразрывно связаны между собой. В большинстве случаев в системе сначала происходит сбой или нарушение — это регистрируется как инцидент. После анализа инцидента становится ясно, связано это с текущей конфигурацией сетевого элемента или нет, и только тогда можно принять решение: необходимо ли вносить изменения в конфигурацию или проблема в чем-то другом. Именно поэтому необходимы два алгоритма, поскольку работа одного вытекает из работы другого [1, 2].

Первый алгоритм — управление инцидентами (см. рис. 1, алгоритм 1). Он включает в себя обнаружение и регистрацию инцидента, анализ и режим восстановления. Второй алгоритм — управление конфигурацией (см. рис. 1, алгоритм 2), который активируется при возникновении сбоя, связанного с некорректной настройкой параметров конфигурации сетевого элемента и другими ошибками [1].

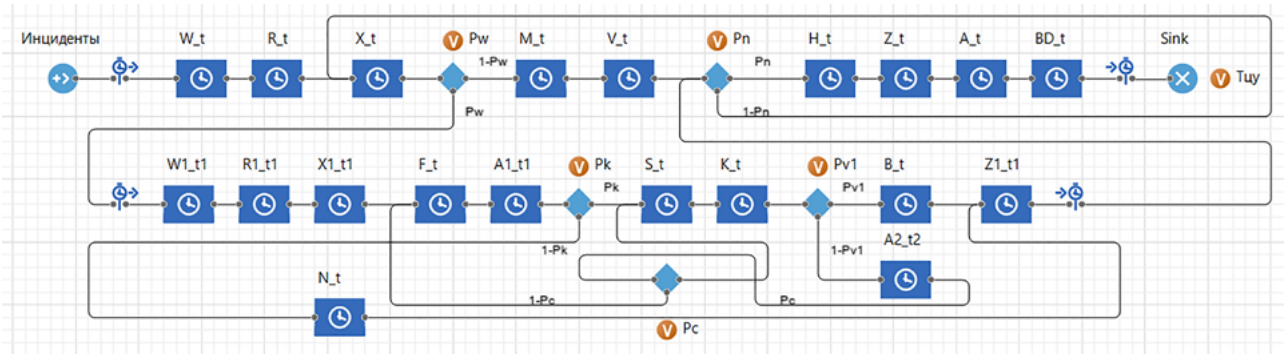

Рис. 2. Модель дискретно-событийной последовательности блоков, смоделированная по алгоритмам

Алгоритм управления инцидентами отвечает за то, чтобы быстро выявить и решить проблемы, когда они появляются. Когда в сети возникает сбой, будь то из-за оборудования, программного обеспечения или других множеств факторов, этот алгоритм реагирует, что позволяет минимизировать воздействие на сеть и ее пользователей [3]. Оперативное обнаружение проблемы, классификация ее по важности, нахождение причины и принятие мер по восстановлению — основа каждого решения инцидента для восстановления системы.

Алгоритм управления конфигурацией, в свою очередь, обеспечивает стабильность работы сети, контролируя настройки и параметры сетевых элементов, приборов сети. В отличие от алгоритма управления инцидентами, который фокусируется на решении уже возникших проблем, управление конфигурацией предотвращает их появление [1, 4].

Для моделирования процессов управления инцидентами и конфигурацией в среде AnyLogic будет использоваться метод дискретно-событийного моделирования. Данный метод позволяет отразить поведение системы как последовательность событий, происходящих в «реальном» времени. С его помощью можно смоделировать ключевые процессы, такие как: регистрация инцидентов, обработка изменений конфигурации и реагирование на сбои [5–7]. Для этого и были разработаны алгоритмы, где каждый блок представляет собой событие, которое происходит в определенный момент времени с заданной вероятностью выполнения.

При разработке модели временные параметры для каждого блока алгоритмов заданы условно. Они основаны на экспертных оценках и обобщенных сценариях работы телекоммуникационной сети [8]. Такой подход позволяет сфокусироваться на сравнительном анализе и логике функционирования системы, не прибегая к представлению детализированных таблиц с исходными данными.

После задания всех временных параметров задержек и установления вероятностных характеристик для каждого блока была реализована имитационная модель, охватывающая полный цикл функционирования двух ключевых алгоритмов: алгоритма управления инцидентами и алгоритма управления конфигурацией. Полная структура модели представлена на рис. 2.

В базовом эксперименте были установлены равные вероятности срабатывания условий для каждого из алгоритмов, что выражается через параметр $Pw = 0{,}5$. Это позволяет оценить поведение системы в сбалансированном режиме, при котором инциденты, требующие изменения конфигурации, и стандартные инциденты, не требующие вмешательства в параметры сети, поступают с одинаковой частотой. Такой подход обеспечивает объективное сравнение эффективности двух процессов реагирования [6].

Для количественной оценки эффективности модели была введена метрика $T_{цу}$ — среднее время реализации полного цикла управления. На рис. 3 представлена гистограмма распределения значений $T_{цу}$ для совместной работы двух алгоритмов. Гистограммы, отражающие распределение времени реализации отдельных алгоритмов, представлены на рис. 4 и 5 — для алгоритма управления инцидентами и алгоритма управления конфигурацией соответственно.

Анализ представленных гистограмм (рис. 3–5) позволяет сделать ряд значимых выводов о поведении и эффективности реализованной модели процессов управления в телекоммуникационной сети.

На рис. 3 показано распределение общего времени реализации процесса управления ($T_{цу}$) при совместной работе двух алгоритмов — управления инцидентами и управления конфигурацией. Среднее время составляет 57,48 минуты, что свидетельствует о высокой скорости восстановления системы в условиях комбинированного подхода. Большинство инцидентов решаются за короткий промежуток времени, что подтверждается плотным сгущением распределения в диапазоне до 50 минут [9].

Рис. 4 иллюстрирует время реализации алгоритма управления инцидентами, где среднее значение составляет 70,12 минуты. В данной ситуации наблюдается более широкое распределение времени, что обусловлено вариативностью сценариев реагирования на инциденты и степенью их сложности. Несмотря на это, совокупное распределение демонстрирует устойчивую тенденцию к завершению процесса в пределах 300 минут, что укладывается в допустимые нормативы реагирования [9].

На рис. 5 представлена гистограмма реализации алгоритма управления конфигурацией. Среднее значение составляет 21,5 минуты, что свидетельствует о высокой эффективности дан-

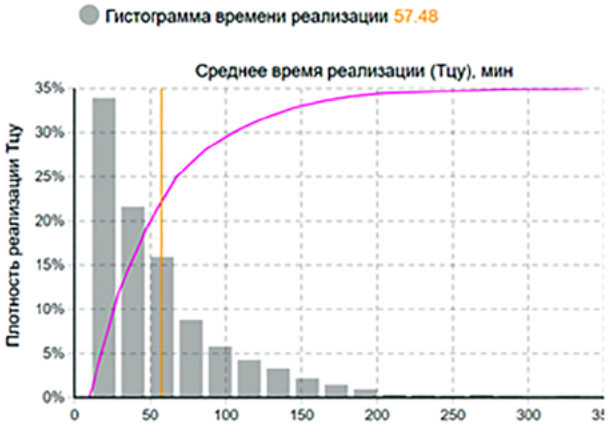

Рис. 3. Гистограмма общего времени реализации

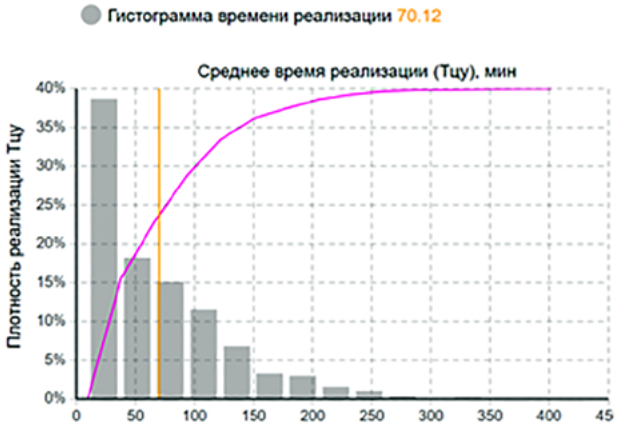

Рис. 4. Гистограмма времени реализации алгоритма управления инцидентами

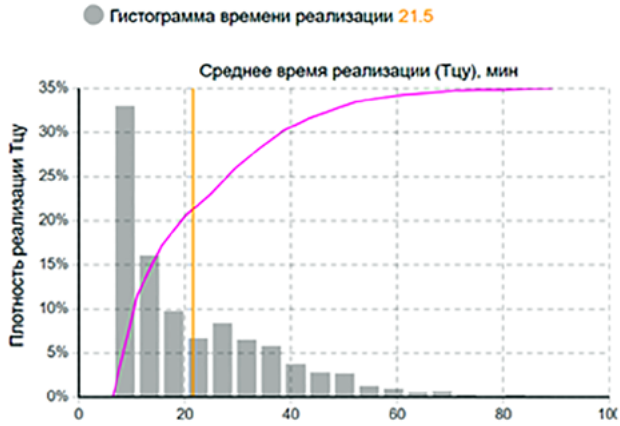

Рис. 5. Гистограмма времени реализации алгоритма управления конфигурацией

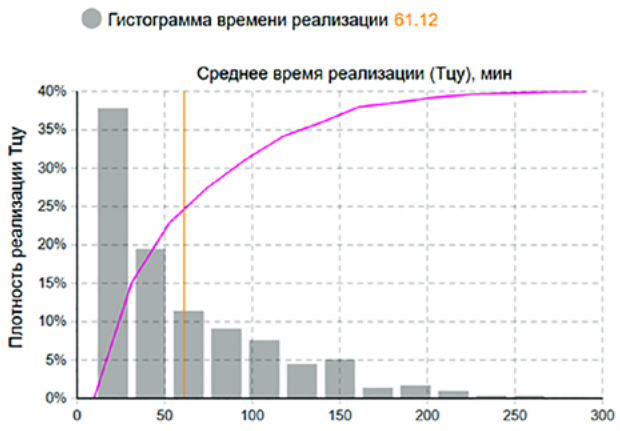

Рис. 6. Гистограмма общего времени реализации при $Pw = 0{,}3$

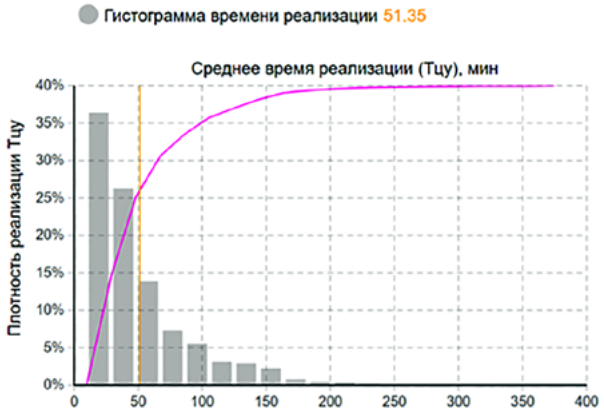

Рис. 7. Гистограмма общего времени реализации при $Pw = 0{,}7$

ного процесса. Основная часть реализации укладывается в интервал до 60 минут, при этом более 60 % инцидентов решаются в первые 20 минут, что подтверждает стабильность и управляемость алгоритма [4].

Теперь рассмотрим первый сценарий работы двух алгоритмов при варьировании вероятностного параметра Pw, который отражает вероятность того, что инцидент потребует применения алгоритма управления конфигурацией. Изначально в модели использовалось значение $Pw = 0{,}5$, что предполагало равную вероятность срабатывания как алгоритма управления инцидентами, так и алгоритма управления конфигурацией. Однако для более глубокого анализа эффективности каждого из алгоритмов была проведена серия экспериментов, в которых результаты гистограмм будут рассматриваться для двух значений Pw: $Pw = 03$ и $Pw = 0{,}7$, так как на рис. 3 представлен результат работы для $Pw = 0{,}5$.

Снижение вероятности активации второго алгоритма до 0,3 привело к увеличению общего среднего времени реализации цикла управления с 57,48 до 61,12 минуты. Это указывает на то, что реже используемый второй алгоритм снижает общую эффективность системы. Несмотря на это, все инциденты продолжают успешно решаться в пределах 300 минут, что говорит о стабильности модели, однако с меньшей скоростью восстановления [10].

Увеличение вероятности до $Pw2 = 0{,}7$ позволило сократить общее среднее время реализации цикла управления до 51,35 минуты, что на 6 минут меньше значения при вероятности $Pw = 0{,}5$. Это свидетельствует о том, что более частое использование второго алгоритма способствует ускорению процесса восстановления. Кроме того, 63 % инцидентов решаются в течение первых 50 минут, а общее время устранения не превышает 250 минут (примерно 4 часа), что демонстрирует высокую оперативность и эффективность взаимодействия алгоритмов при заданных условиях [10].

Заключение

В результате проведенного моделирования процессов управления инцидентами и конфигурацией телекоммуникационной сети (ТКС) была разработана имитационная модель, позволяющая оценить эффективность применения автоматизированных алгоритмов в различных сценариях функционирования системы.

Сравнительный анализ показал, что использование алгоритмов управления позволяет значительно сократить общее время восстановления сети. Особенно эффективной оказалась совмест-

ная работа алгоритмов управления инцидентами и конфигурацией: среднее время реализации процесса ($T_{цу}$) в таком случае было наименьшим [4].

Дополнительно была проведена серия экспериментов с варьированием вероятностного параметра *Pw*, отражающего частоту применения алгоритма конфигурации. Этот параметр имитирует нагрузку на подсистему управления: чем выше *Pw*, тем выше нагрузка, что влияет на эффективность и оперативность восстановления [10].

Список источников

1. Чухно А. А. Основы построения и управления телекоммуникационными сетями / А. А. Чухно, Д. С. Белоусов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019.

2. Канаев А. К. Информационная модель учета и управления данными о конфигурации сети в интересах системы управления сети связи специального назначения / А.К. Канаев, А. Н. Копытин // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах, Т. 2. — 2015. — С. 1280–1285.

3. Логин Э. В. Анализ и классификация существующих систем управления телекоммуникационными сетями / Э. В. Логин // Труды 69-ой Международной научно-технической конференции, посвященной Дню радио. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. — С. 229–230.

4. Гореликов А. В. Имитационное моделирование систем: учебное пособие / А. В. Гореликов. — М.: КНОРУС, 2020. — 240 с.

5. Гребешков А. Ю. Функциональные задачи контроля и управления конфигурацией в современных телекоммуникациях / А. Ю. Гребешков // Технологии информационного общества, 12-2001. — С. 29–31.

6. Гребешков А. Ю. Управление и технический учет ресурсов в телекоммуникациях / А. Ю. Гребешков. — М.: ИРИАС, 2008. — 326 с.

7. Воронков А. А. AnyLogic в примерах и задачах: учебное пособие / А. А. Воронков, С. А. Емельянов. — М.: ДМК Пресс, 2022. — 208 с.

8. Григорьев И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию / И. Григорьев. — URL: https://anylogic.help/ru/tutorials/index.html.

9. Попов В. Н. Сети связи и телекоммуникации: учебник для вузов / В. Н. Попов, И. В. Котляров. — М.: Горячая линия — Телеком, 2021

10. Канаев А. К. Разработка имитационных моделей средствами AnyLogic: электронный практикум по дисциплине «Системы управления телекоммуникациями» / А. К. Канаев, М. А. Сахарова, Э. В. Логин, Е. В. Опарин. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2024. — 64 с.

Дата поступления: 15.04.2025
Решение о публикации: 15.05.2025

Контактная информация:
КАЗАРОВА Анна Олеговна — студент 5-го курса; 15.annna.0@gmail.com
ЛОГИН Элина Валерьевна — канд. техн. наук; elinabeneta@yandex.ru
МАШКОВЦЕВ Глеб Алексеевич — аспирант; Mashgleb00@yandex.ru

Investigation of Incident and Configuration Management Algorithms Using Simulation Modelling

A. O. Kazarova, E. V. Login, G. A. Mashkovtsev

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kazarova A. O., Login E. V., Mashkovtsev G. A. Investigation of Incident and Configuration Management Algorithms Using Simulation Modelling. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 2, pp. 545–552. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-545-552

Summary

Purpose: To develop a simulation model for the management of incidents and configurations of a telecommunication network (TNC), followed by a comparative analysis of different operational scenarios. **Methods:** The simulation model was developed using the AnyLogic software, with a probabilistic approach employed for modelling various events. **Results:** Three scenarios have been developed: the operation of two algorithms together, the operation of the incident management algorithm, and the operation of the configuration management algorithm. The integrated use of the algorithms has been found to provide the shortest average cycle time for management. The impact of varying the Pw probability on the model's behaviour and algorithm performance has also been examined. **Practical significance:** The developed model can be applied in real-world conditions when designing automated TNC management systems. It allows forecasting the effectiveness of different management approaches, optimising incident response processes, and justifying the implementation of algorithms in telecommunications facilities.

Keywords: Simulation modelling, management, incident, configuration, algorithm, telecommunications network, AnyLogic environment, model, scenario, probabilistic parameter.

References

1. Chukhno A. A., Belousov D. S. *Osnovy postroeniya i upravleniya telekommunikatsionnymi setyami* [Fundamentals of Construction and Management of Telecommunication Networks]. St. Petersburg: BKhV-Peterburg Publ., 2019. (In Russian)

2. Kanaev A. K., Kopytin A. N. Informatsionnaya model' ucheta i upravleniya dannymi o konfiguratsii seti v interesakh sistemy upravleniya seti svyazi spetsial'nogo naznacheniya [Information Model for Accounting and Managing Network Configuration Data in the Interests of a Special-Purpose Communication Network Management System]. *Aktual'nye problemy infotelekommunikatsiy v nauke i obrazovanii: mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya: sbornik nauchnykh statey v 2 tomakh* [Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education: International Scientific, Technical and Scientific-Methodological Conference: Collection of Scientific Articles in 2 Volumes]. 2015, vol. 2, pp. 1280–1285. (In Russian)

3. Login E. V. Analiz i klassifikatsiya sushchestvuyushchikh sistem upravleniya telekommunikatsionnymi setyami [Analysis and Classification of Existing Telecommunication Network Management Systems]. *Trudy 69-oy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu radio* [Proceedings of the 69th International Scientific and Technical Conference Dedicated to Radio Day]. St. Petersburg: SPbGETU "LETI" Publ., 2014, pp. 229–230. (In Russian)

4. Gorelikov A. V. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem: uchebnoe posobie* [Simulation modeling of systems: a tutorial]. Moscow: KNORUS Publ., 2020, 240 p. (In Russian)

5. Grebeshkov A. Yu. Funktsional'nye zadachi kontrolya i upravleniya konfiguratsiey v sovremennykh tele-

kommunikatsiyakh [Functional tasks of control and configuration management in modern telecommunications]. *Tekhnologii informatsionnogo obshchestva* [Technologies of the information society]. 12-2001, pp. 29–31. (In Russian)

6. Grebeshkov A. Yu. *Upravlenie i tekhnicheskiy uchet resursov v telekommunikatsiyakh* [Management and technical accounting of resources in telecommunications]. Moscow: IRIAS Publ., 2008, 326 p. (In Russian)

7. Voronkov A. A., Emel'yanov S. A. *AnyLogic v primerakh i zadachakh: uchebnoe posobie* [AnyLogic in examples and problems: a tutorial]. Moscow: DMK Press Publ., 2022, 208 p. (In Russian)

8. Grigor'ev I. *AnyLogic za tri dnya. Prakticheskoe posobie po imitatsionnomu modelirovaniyu* [AnyLogic in three days. A practical guide to simulation modeling]. Available at: https://anylogic.help/ru/tutorials/index.html. (In Russian)

9. Popov V. N., Kotlyarov I. V. *Seti svyazi i telekommunikatsii: uchebnik dlya vuzov* [Communication networks and telecommunications: a textbook for universities]. Moscow: Goryachaya liniya — Telekom Publ., 2021. (In Russian)

10. Kanaev A. K., Sakharova M. A., Login E. V., Oparin E. V. *Razrabotka imitatsionnykh modeley sredstvami AnyLogic: elektronnyy praktikum po distsipline "Sistemy upravleniya telekommunikatsiyami"* [Development of simulation models using AnyLogic: an electronic workshop on the discipline "Telecommunication management systems"]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2024, 64 p. (In Russian)

Received: April 15, 2025
Accepted: May 15, 2025

Author's information:
Anna O. KAZAROVA — Student; 15.annna.0@gmail.com
Elina V. LOGIN — PhD in Engineering;
elinabeneta@yandex.ru
Gleb A. MASHKOVTSEV — Postgraduate Student;
Mashgleb00@yandex.ru