

doi 10.24411/2409-5419-2018-10039

# МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

## ЛОГИН

Элина Валерьевна<sup>1</sup>

## КАНАЕВ

Андрей Константинович<sup>2</sup>

## АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день не существует единой методики для разработки системы управления сетью на основе технологии Carrier Ethernet. Существует множество стандартов, где описаны архитектура и механизмы контроля и управления элементами сети Carrier Ethernet (механизмы OAM), но не сформированы требования к системе управления такой сетью связи. Решение этой задачи возможно путем моделирования процесса функционирования транспортной сети на основе технологии Carrier Ethernet для управления ее конфигурацией. Для создания модели выбран аппарат имитационного моделирования AnyLogic. Целью работы является выявление взаимосвязей между надежностными показателями функционирования транспортной сети на основе технологии Carrier Ethernet и процессом функционирования подсистем управления и восстановления транспортной сети. А также получение зависимостей коэффициента готовности от длительностей времени наработки на отказ и времени восстановления отказа, а также от количественных характеристик конфигурации моделируемого фрагмента сети. Мультиагентная система, являющаяся частью управляющей системы, находится во взаимодействии с ней. Использование в МАСУ распределенного объекта управления транспортной сети на основе технологии Carrier Ethernet позволит получить демонстрацию динамики изменения состояния фрагмента транспортной сети и получить оценку сетевой надежности. Решение задачи по построению модели МАСУ основано на использовании метода агентного моделирования, который относится к классу агент-ориентированных моделей. В работе используются положения теории вероятностей, теории управления и теории систем. Новизна представленной модели заключается в выборе нового объекта управления Carrier Ethernet, выборе оригинального комплекса механизмов контроля и управления для их включения в модель, применении математического аппарата агентного моделирования. Использование представленной модели для исследования функционирования транспортной сети позволяет проследивать динамику поведения каждого узла и каждого маршрута со своими значениями интенсивностей отказов и восстановления для структуры сети любой сложности, позволяет решать задачи, связанные с определением длительности времени до потери связности в маршруте и длительности времени наработки на отказ всех маршрутов одновременно, позволяет формировать оценки сетевой надежности и отказоустойчивости.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транспортная сеть связи; Carrier Ethernet; агентное моделирование; AnyLogic; механизмы OAM; система управления; сетевая надежность.

## Сведения об авторах:

<sup>1</sup> ассистент кафедры электрической связи  
Петербургского государственного  
университета путей сообщения  
Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
elinabeneta@yandex.ru

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, заведующий  
кафедрой электрической связи  
Петербургского государственного  
университета путей сообщения  
Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
kanaevak@mail.ru

С развитием телекоммуникационных технологий и увеличением структурной сложности транспортных сетей связи (ТрС) актуализируются вопросы исследования и моделирования систем управления (СУ) соответствующими сетями связи. В работах [1–5] освещаются вопросы надежности и устойчивости сетей связи. Представленная работа отличается от известных включением в модель в качестве объекта управления ТрС а также построением СУ) на основе аппарата агентного моделирования. Еще одной отличительной чертой данного исследования является использование новой технологии построения ТрС операторского класса — Carrier Ethernet (CE). В основе технологии CE лежат механизмы для контроля состояния и управления сетевыми элементами (механизмы OAM). Построение СУ такой сетью возможно с использованием результатов агентного способа моделирования, что подразумевает возможность построения моделей большого масштаба и сложности. В качестве объекта управления в работе рассматривается сеть CE. Сеть связи имеет строго определенную структуру, состоящую из элементов. Под элементом понимается узел и канал передачи информации. В качестве узлов в такой сети может выступать комплекс специального оборудования (маршрутизаторы, коммутаторы, мультиплексоры и пр.), обеспечивающий передачу разного рода данных и связность сети. Задачей сети связи является выполнение функций предоставления и поддержания услуг связи с заданными параметрами.

Для выявления взаимозависимостей между надежностными показателями функционирования сети и процессом функционирования подсистем управления и восстановления ТрС необходимо получить значения параметров, характеризующих надежность сети. Таким образом, целью работы является получение длительности наработки времени на отказ и длительности восстановления отказа. Для достижения цели работы необходимо решить задачу, связанную с разработкой модели функционирования ТрС в составе мультиагентной системы управления (МАСУ), которая в свою очередь формализует функции механизмов OAM.

В соответствии с функциональной моделью МАСУ [6] сбор и регистрация данных для реализации механизмов OAM осуществляется агентами регистрации и анализа событий. Поэтому при моделировании МАСУ ТрС под агентом МАСУ будем понимать агента регистрации и анализа событий, который в свою очередь отражает состояние и параметрическое пространство некоторого элемента ТрС. Каждый агент МАСУ содержит информацию об элементе ТрС. Для создания модели МАСУ использовалась среда моделирования AnyLogic, отличающаяся от остальных многообразием способов оценки результатов и возможностью использования агентного способа моделирования.

Процесс разработки модели включает в себя несколько этапов, которые в виде отдельных блоков представлены на рис. 1.

Так как основными элементами ТрС являются узловые коммутаторы (маршрутизаторы) и их соединения, то элементы ТрС в модели функционирования можно классифицировать на элементы, к которым относятся узлы ТрС, и маршруты, к которым относится совокупность нескольких узлов и каналов передачи информации ТрС. При создании модели МАСУ предполагается создание таких агентов, которые являются информационным отражением каждого элемента ТрС. Модель функционирования описывает фрагмент ТрС под управлением одного узла МАСУ. Предполагается, что в каждом фрагменте ТрС имеется множество узлов  $E$  и множество маршрутов  $C$ , а в соответствующем узле МАСУ имеется множество агентов-узлов  $A^E$  и множество агентов-маршрутов  $A^C$ . Так как в среде AnyLogic при агентном способе моделирования моделируемой единицей является агент, то понятие агента МАСУ как программной реализации элемента ТрС будет совпадать с понятием агента модели. Но если в первом случае агентом является структурном блоке МАСУ [6], то агентом в модели является программная реализация узла ТрС или маршрута, соединяющего некоторое количество узлов.

В среде моделирования AnyLogic множеством агентов одного и того же типа называется популяция агентов [7–8]. По такому принципу в модели созданы две популяции: «equipments» с типом агентов «Equipment» — для создания агентов-узлов и «connect» с типом агентов «Connect» — для создания агентов-маршрутов (блок 1 на рис. 1). В силу того, что к задачам узла МАСУ относится управление фрагментом ТрС, то конфигурация фрагмента ТрС должна быть задана для соответствующего узла МАСУ. В среде моделирования формируется пространство, в котором будут существовать и взаимодействовать агенты (блок 2 на рис. 1). Причем пространство формируется путем настроек сети автоматически или вручную путем задания статических и динамических координат местоположения для каждого агента.

Все элементы ТрС характеризуются набором параметров. Изменение значений параметров в результате воздействия на сеть различных факторов оказывает влияние на состояние соответствующих узлов и маршрутов ТрС, и в целом всего фрагмента ТрС. Эти изменения будут отражать агенты МАСУ, а в конечном итоге это изменение будет влиять на формирование новой конфигурации ТрС. В данной работе изменение параметров задавалось с помощью функции случайного распределения для времени наработки на отказ и функции случайного распределения для времени восстановления отказа элемента ТрС. Модель предусматривает наличие параметрического пространства, изменение которого влияет на значение надежности



Рис. 1. Структура имитационной модели МАСУ

ТрС. В [2, 11] представлено множество параметров узлов ТрС, которые в МАСУ отражаются в виде множества атрибутов. В табл. 1 представлены параметры агентов МАСУ, которые учитывались в модели как дополнительные свойства у агентов модели (блок 3 на рис. 1).

Правила поведения для агентов МАСУ, учитывающих особенности архитектуры ОАМ Carrier Ethernet основываются на разработанных алгоритмах управления [9–11]. Данные алгоритмы включают в себя ряд подпроцессов по управлению и контролю неисправностями. Результаты моделирования [11] этих подпроцессов использованы в исследовании данной работы. В модели у агентов учитывается ряд состояний, характеризующих их работоспособность (блок 4 на рис. 1).

Переход агентов из одного состояния в другое задается с помощью соответствующих параметров (блок 5 на рис. 1):

1) функция распределения вероятности отказа элемента ТрС задана с помощью закона случайного распределения Вейбулла-Гнеденко:

$$E(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{2,017}\right)^{2,138}}$$

Данное распределение было получено на основе статистических данных функционирования телекоммуникационного оборудования по результатам двух лет его работы, а также для получения такого распределения были рассчитаны его параметры [6–7].

$$\hat{b} = \frac{\ln \ln F_2 - \ln \ln F_1}{\ln \frac{t_2}{t_1}} = 2,138$$

$$\hat{a} = \frac{t_1}{(-\ln F_1)^{1/b}} = 2,017$$

где  $F_1$  и  $F_2$  — точки эмпирической функции распределения времени, а  $t_1$  и  $t_2$  — интервалы времени эксплуатации оборудования получены в результате построения эксперимен-

Таблица 1

Дополнительные свойства агентов МАСУ

Классификация параметра в МАСУ	Название параметра	Тип	Множество значений
Параметры конфигурации	Ethernet	boolean	<i>VLAN tunneling (Q-in-Q) for TLS</i>
		boolean	<i>IEEE 802.3u (Fast Ethernet)</i>
		string	<i>IEEE 802.3x,z,d,q,ad,ab,ah,s</i>
		boolean	<i>VLAN Translation</i>
	Защита соединения и пути	boolean	<i>Ручная агрегация соединения</i>
		boolean	<i>STP</i>
		boolean	<i>RSTP Self Loop Detection</i>
	Тип порта	boolean & integer	<i>4 x 1000 BASE-FX ports</i>
			<i>16 x 1000 BASE-FX ports</i>
			<i>24 x 100 BASE-FX ports</i>
			<i>1 x OOB Management port</i>
			<i>1 x Console Port (RS-232)</i>
	Управление сетью	boolean	<i>SNMP, SNMP MIB II (RFC 1213)</i>
		boolean	<i>Y.1731 Performance Monitoring</i>
		boolean	<i>IEEE 802.1ag</i>
boolean		<i>Connectivity Fault Management</i>	
boolean		<i>Fault Detection (Trace route, packet trace, IFG shaving)</i>	
Параметры оценки состояния	Качество предоставляемых услуг <i>QoS</i>	string	<i>128 уровней сервисов</i>
		integer	<i>CIR</i>
		integer	<i>EIR</i>
		string	<i>DiffServ</i>

тальной функции распределения отказов оборудования связи различного типа [12–13].

2) функция распределения времени восстановления элемента ТрС задана с помощью переменных AnyLogic, которые позволяют задавать данную величину как случайную и формировать для нее нормальное распределение с требуемыми характеристиками. Задание характеристик этой переменной также обуславливалось данными статистики эксплуатации сетей связи железнодорожного транспорта [13].

Стоит отметить, что агенты внутри своей популяции, а также между популяциями обмениваются управляющей информацией, например, сообщая агенту-маршруту о неисправных агентах-узлах, входящих в конфигурацию данного маршрута. Таким образом, в агентной среде состояния элементов задаются с помощью функций распределения вероятности и восстановления отказа, а состояние маршрутов будет зависеть от состояния элементов, которые входят в данный маршрут.

Изменение состояния элемента ТрС отражается в МАСУ путем изменения состояния соответствующего

агента узла МАСУ. После чего непосредственно агент, а также другие блоки управления узла МАСУ [6] реагируют на изменения в соответствии с алгоритмом контроля состояния и управления элементами ТрС. В данном моделировании использовался полученный ранее алгоритм работы процессов периодического контроля и состояния фрагмента ТрС [11].

При изменении состояние какого-либо агента, запускается алгоритм контроля состояния и управления элементами ТрС. Состояние агента-узла диагностируется с помощью сообщения ССМ (Continuity Check Message) [14–15]. В результате оценки данных сообщения ССМ для одного маршрута фрагмента сети возможны два случая:

1) несоответствий не обнаружено, маршрут исправен, узлы маршрута находятся в исправном состоянии. В этом случае алгоритм запускает подпроцесс проверки параметров элементов данного маршрута;

2) обнаружена неисправность в маршруте. В этом случае маршрут устанавливается в неисправное состояние; запускается подпроцесс локализации неисправности для поиска неисправного агента; далее запускаются подпро-

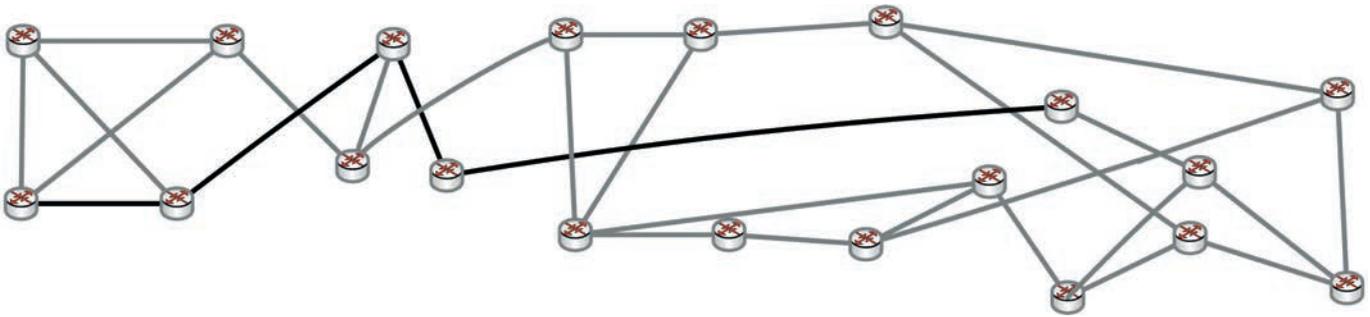


Рис. 2. Структура моделируемого фрагмента TrC с указанием примера маршрута

цессы восстановления агента и формирования множества вариантов по изменению конфигурации фрагмента сети.

При моделировании приняты следующие ограничения и допущения (блок 6 на рис. 1):

Рассматривается фрагмент TrC под управлением одного узла МАСУ;

1. Узел МАСУ состоит из 20 агентов, которые отражают состояние соответствующих узлов TrC;
2. Функции распределения случайных величин относятся к классу нормальных и Вейбулла-Гнеденко;
3. Характеристики случайных величин определяются статистическими способами;
4. Длительность эксперимента не превышает 10 лет модельного времени;
5. Среднее количество узлов, входящих в состав маршрута составляет 5.

На рис. 2 представлен прототип фрагмента TrC, на основе которой проводилось моделирование функционирования.

В результате моделирования были получены следующие данные. На рис. 3 представлены полученные в ходе моделирования значения величин времени наработки на

отказ и времени восстановления для маршрутов фрагмента сети, представленного на рис. 2. Так как результаты моделирования в AnyLogic представляются в виде крупного массива данных для каждого отказа каждого агента, поэтому на рис. 3 представлены средние значения соответствующих величин.

На рис. 4 представлены данные величин времени наработки на отказ и времени его восстановления для узлов фрагмента сети.

Для решения задачи, связанной с получением значений оценки надежности TrC, необходимо определить основные показатели надежности. В данной работе оцениваются такие показатели надежности как средняя наработка времени на отказ ( $T_{mno}$ ), среднее время восстановления отказа ( $T_{vvo}$ ) и коэффициент готовности TrC ( $K_g$ ) [13].

По результатам моделирования получены два значения коэффициента готовности. Для оценки надежности фрагмента сети, структурированного по маршрутам и использующего для управления неисправностями алгоритмы контроля состояния и управления элементами TrC на базе технологии СЕ, получено среднее значение коэффициента готовности сети  $K_g = 0,981$ . Второе значение  $K_g = 0,941$  было получено при тех же условиях, но без учета доменов технологии СЕ, предусмотренных архитектурой ОАМ технологии СЕ. Это значит то, что помимо механизмов контроля и управления состояниями сетевых элементов в значительной степени на значение надежности TrC влияет архитектура ОАМ, которая определяет конфигурацию маршрутов TrC.

Основным выводом по результатам моделирования является то, что коэффициент готовности сети чувствителен к ключевым параметрам модели —  $k$  (количество узлов в маршруте),  $L$  (количество узлов внутри фрагмента сети),  $T_{mno}$  (время наработки на отказ элемента СЕ),  $T_{vvo}$  (время восстановления отказа элемента СЕ).

На рис. 5 представлен график зависимости коэффициента готовности фрагмента TrC от количества элементов в маршруте и от количества элементов во фрагменте TrC.

График на рис. 5 иллюстрирует выбор приемлемого количества элементов в маршруте и в отдельно сформиро-

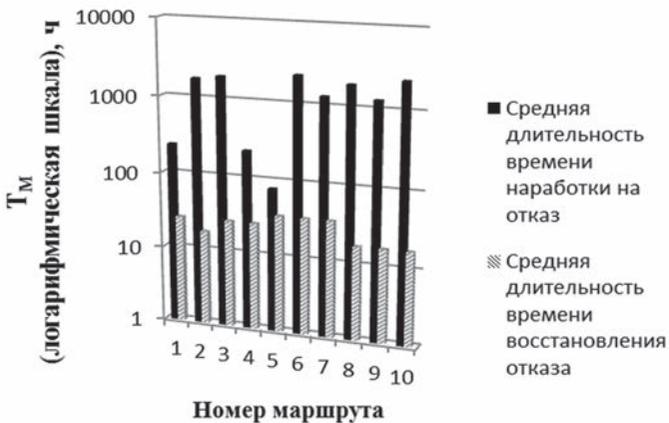


Рис. 3. Данные длительностей времени наработки на отказ и времени восстановления отказа на логарифмической шкале модельного времени ( $T_m$ ) для маршрутов фрагмента TrC

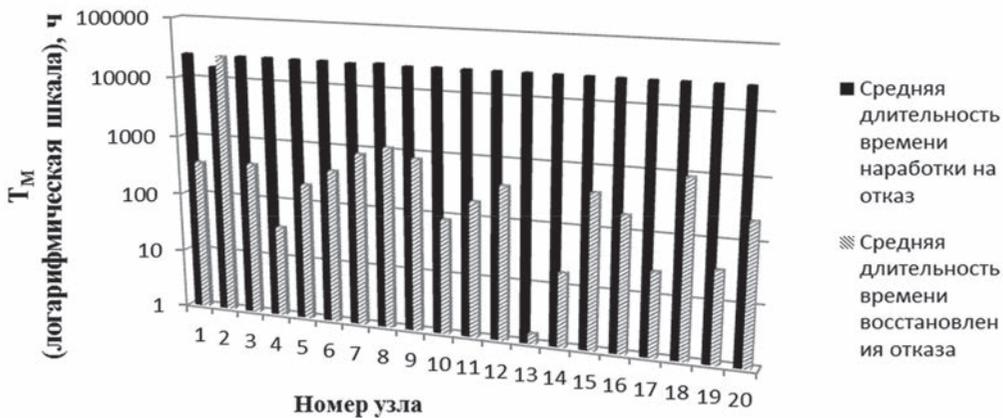


Рис. 4. Данные длительностей времени наработки на отказ и времени восстановления отказа на логарифмической шкале модельного времени ( $T_m$ ) для узлов фрагмента ТрС

ванных фрагментах ТрС в зависимости от требуемого значения коэффициента готовности.

На рис. 6 представлена зависимость коэффициента готовности от времени наработки на отказ и времени восстановления отказа.

В случае параметров длительности восстановления и наработки на отказ, то полученные графики иллюстрируют взаимную зависимость значений этих параметров от  $K_g$ . Таким образом, график на рис. 6 позволяет также обоснованно выбирать рациональный уровень надежности сети в рамках параметра  $K_g$  и при этом соответствовать требованиям по отказоустойчивости элементов сети.

Проводимые исследования [1–5] в области решения задач, связанных с оценкой надежности сетей, являлись основой и предпосылкой представленного в данной рабо-

те исследования. Полученная модель позволяет проследить динамику поведения каждого узла и каждой линии со своими значениями интенсивностей отказов и интенсивностей восстановления для конфигурации сети высокой сложности, а также позволяет решать задачи, связанные с определением длительности времени до потери связности в маршруте и длительности наработки на отказ всех маршрутов одновременно. Это в свою очередь позволяет формировать оценки сетевой надежности и отказоустойчивости. На основании этого получены значения коэффициента готовности для маршрутов и отдельно взятых узлов Тр С. При оценке полученных значений выявлено то, что наибольшее значение коэффициента готовности имеет сеть при наличии в ней маршрутов, контролируемые и управляемые посредством процессов на основе

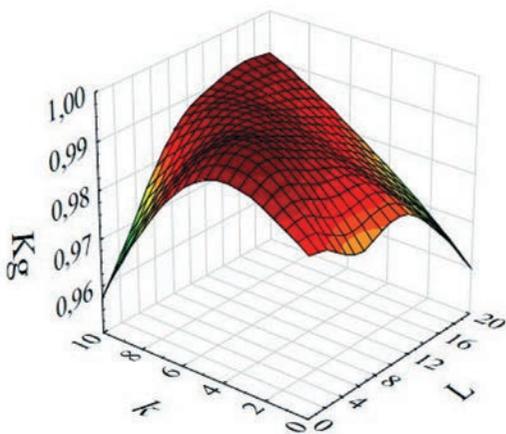


Рис. 5. График зависимости коэффициента готовности ( $K_g$ ) от количества элементов в маршруте ( $k$ ) и от количества элементов во фрагменте сети ( $L$ )

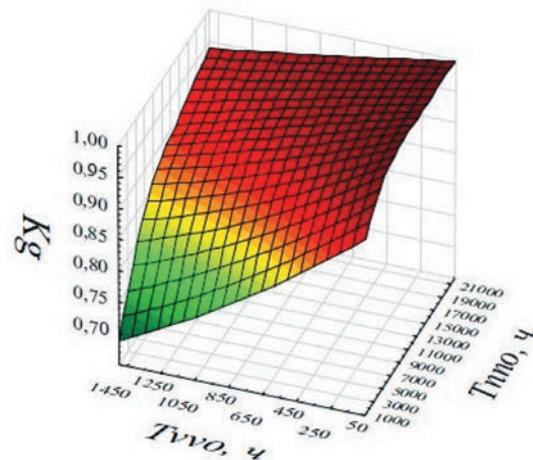


Рис. 6. График зависимости коэффициента готовности ( $K_g$ ) сети от времени наработки на отказ ( $T_{mf}$ ) и времени восстановления отказа ( $T_{vr}$ ) сетевого элемента Carrier Ethernet

механизмов ОАМ. Несмотря на то, что значение длительности времени наработки на отказ для отдельно взятого узла ТрС намного превышает значение этого параметра для маршрута ТрС, возможность управления состоянием маршрутов с предварительным контролем состояния входящих в него узлов (табл. 3) позволяет получить наибольшее значение коэффициента готовности  $K_g = 0,981$ .

Моделирование процесса функционирования ТрС позволяет на этапе проектирования перспективной СУ ТрС на базе технологии СЕ выбирать тот или иной вариант формирования конфигурации сети СЕ.

Кроме этого по результатам моделирования выявлена чувствительность модели к таким параметрам как — количество элементов в маршруте, количество элементов внутри фрагмента сети, время наработки на отказ у элемента СЕ, время восстановления отказа у элемента СЕ. Установленные по результатам моделирования закономерности зависимости коэффициента готовности от этих параметров могут быть использованы для выбора приемлемого количества элементов в маршруте и в отдельных сформированных фрагментах сети, а также выбор рационального уровня надежности сети в зависимости от требуемого значения коэффициента готовности.

## Литература

1. *Опарин Е. В.* Методика формирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизацией: дис. канд. техн. наук. СПб., 2013. 159 с.
2. *Сахарова М. А.* Разработка моделей функционирования и методики формирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью передачи данных: дис. канд. техн. наук. СПб., 2015. 161 с.
3. *Буренин А. Н., Курносков В. И.* Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями. М.: Наука, 2011. 464 с.
4. *Карпов Е. А., Котенко И. В., Боговик А. В., Ковалёв И. С., Забело А. Н., Загоруйко С. С. Олейник В. В.* Основы теории управления в системах военного назначения. СПб.: Изд-во ВУС, 2000. 158 с.
5. *Котенко И. В., Боговик А. В.* Теория управления в системах военного назначения. М.: Изд-во МО РФ, 2001. 320 с.
6. *Логин Э. В., Ануфренко А. В., Канаев А. К.* Мультиагентный подход к формированию структуры системы управления транспортной сетью связи на основе технологии Carrier Ethernet // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций а науке и образовании: сборник научных статей (Санкт-Петербург, 1–2 марта 2017). СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2017. С. 57–59.
7. *Боев В. Д.* Исследование адекватности GPSS WORLD и ANYLOGIC при моделировании дискретно-событийных процессов: Монография. СПб., 2011. 404 с.
8. *Каталевский Д. Ю.* Основы имитационного моделирования системного анализа в управлении. Изд. 2-е. М.: Изд-во РАНХИГИС, 2015. 496 с.
9. *Бенета Э. В., Канаев А. К.* Формирование алгоритма управления отказами в телекоммуникационной сети связи, построенной по технологии Carrier Ethernet // Информационные технологии на транспорте: сборник материалов секции «Информационные технологии на транспорте» юбилейной XV Междунар. конф. «Региональная информатика — 2016» (Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016). СПб.: Изд-во ВО ПГУПС, 2016. С. 95–100.
10. *Бенета Э. В., Канаев А. К.* Анализ функций ОАМ в технологии Carrier Ethernet // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио Секция: «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте», (Санкт-Петербург, 27–29 апреля 2017). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. С. 241–242.
11. *Бенета Э. В., Канаев А. К., Сахарова М. А.* Комплексная математическая модель процесса функционирования интеллектуальной системы управления сетью Carrier Ethernet // Сборник докладов в 3-х томах XX Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2017) (Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. Т. 1. С. 282–285.
12. *Канаев А. К., Опарин Е. В.* Методика оценки и прогнозирования технического состояния оборудования сети синхронизации // Транспорт Урала. 2015. № 1. С. 41–47.
13. *Котов В. К., Антонец В. Р., Лабеецкая Г. П., Шмытинский В. В.* Научно-методические основы управления надежностью и безопасностью эксплуатации сетей связи железнодорожного транспорта: Монография. СПб.: Изд-во Учебно-методического центра по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. 193 с.
14. *Бенета Э. В., Канаев А. К.* Выбор телекоммуникационной технологии операторского класса // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 7. С. 13–15.
15. *Логин Э. В., Канаев А. К., Сахарова М. А., Муравцов А. А.* Сценарий управления сетью операторского класса Carrier Ethernet и оценка длительности цикла управления // Бюллетень результатов научных исследований. 2017. № 3. С. 159–170. URL: [brni.info/view/выпуск-24.html#0](http://brni.info/view/выпуск-24.html#0) (дата обращения 21.03.2018).

## MODEL OF A TRANSPORT COMMUNICATION NETWORK AS A COMPONENT OF A MULTI-AGENT MANAGEMENT SYSTEM

**ELINA V. LOGIN,**

St-Petersburg, Russia, elinabeneta@yandex.ru

**ANDREY K. KANAEV**

St-Petersburg, Russia, kanaevak@mail.ru

**KEYWORDS:** transport network; Carrier Ethernet; agent modeling; AnyLogic; OAM mechanisms; management system; network reliability.

### ABSTRACT

To date, there is no unified methodology for the development of a management system (MS) network based on the technology of Carrier Ethernet (CE). There are many standards that describe the architecture and mechanisms for monitoring and managing elements of the CE network (OAM mechanisms), but there are no requirements for the MS for such a communication network. The solution of this problem is possible by modeling the process of functioning of transport network (TrN) on the basis of CE technology for managing its configuration. AnyLogic simulation device was chosen to create the model. The aim of the work is to identify the interdependencies between the reliability indicators of the TrN functioning on the basis of the CE technology and the process of the operation of the TrN management and recovery subsystems. As well as obtaining dependencies of the availability factor on the duration of the time between failure and failure recovery times, as well as on the quantitative characteristics of the configuration of the modeled network fragment. To achieve this goal, it is necessary to develop a model for the operation of the TrN, for the management of which it is proposed to use the agency of the agency management (MAMS) as part of the MS structure. The multi-agent system, which is part of the control system, is in interaction with it. Physically, agents are the information realization of the elements of the structure of the communication network, and their behavior is set up algorithmically in order to jointly achieve the objective function. The use of the distributed control object TrN on the basis of CE technology in MAMS will allow to obtain a demonstration of the dynamics of the state change of the TrN fragment and obtain an estimate of the network reliability. The solution to the problem of building the MAMS model is based on the use of the agent modeling method, which belongs to the class of agent-oriented models. The paper uses the provisions of probability theory, control theory and systems theory. The novelty of the presented model is the choice of a new CE management object, the choice of an original set of control and management mechanisms for their inclusion in the model, the application of the mathematical apparatus of agent modeling. Using the presented model to investigate the functioning of the TrN allows one to trace the dynamics of the behavior of each node and each route with its failure and recovery

rates for a network structure of any complexity, allows solving tasks related to determining the length of time before the loss of connectivity in the route and the duration of the time between failures of all routes simultaneously, allows to form estimates of network reliability and fault tolerance. The presented model of TrN functioning and the obtained network reliability estimates taking into account the architecture of CE domains and the mechanisms for monitoring and managing the network state allow one to choose one or another variant of the configuration of the CE network at the design stage of the advanced MS based on the CE technology. That is, based on the network availability factor values, you can select an existing OAM architecture or specify a different architecture for the network elements routes in accordance with the requirements for the network availability factor required for the advanced MS.

### REFERENCES

1. Oparin E.V. *Metodika formirovanija intellektual'noj sistemy podderzhki prinjatija reshenij po upravleniju set'ju taktovoj setevoj sinhronizaciej* [Method of forming an intelligent decision support system for network management by clock network synchronization. Ph. tech. sci. diss.]. St. Petersburg, 2013. 159 p. (In Russian)
2. Sakharova M.A. *Razrabotka modelej funkcionirovanija i metodiki formirovanija intellektual'noj sistemy podderzhki prinjatija reshenij po upravleniju set'ju peredachi dannyh* [Development of models of functioning and methods of formation of an intelligent decision support system for managing a data network. Ph. tech. sci. diss.]. St. Petersburg, 2015. 161 p. (In Russian)
3. Burenin A.N., Kurnosov V.I. *Teoreticheskie osnovy upravlenija sovremennymi telekommunikacionnymi setjami* [Theoretical bases of management of modern telecommunication networks]. Moscow: Nauka, 2011. 464 p. (In Russian)
4. Karpov E.A., Kotenko I.V., Bogovik A.V., Kovalev I.S., Zabelo A.N., Zagorulko S.S., Oleinik V.V. *Osnovy teorii upravlenija v sistemah voennogo naznachenija* [Fundamentals of control theory in military systems]. Saint-Petersburg: VUS, 2000. 158 p. (In Russian)
5. Kotenko I.V., Bogovik A.V. *Teorija upravlenija v sistemah voennogo naznachenija* [The theory of control in military systems]. Moscow:

Ministry of defence of Russian Federation, 2001. 320 p. (In Russian)

6. Login, E.V., Anufrenko, A.V., Kanaev, A.K. Mul'tiagentnyj podhod k formirovaniju struktury sistemy upravlenija transportnoj set'ju svjazi na osnove tehnologii Carrier Ethernet [Multi-agent approach to structure formation of management of transport networks based on Carrier Ethernet technology] *Aktual'nye problemy infotelekomunikacij a nauke i obrazovanii: sbornik nauchnyh statej* [Collection of scientific papers by 6th International conference on Advanced infotelecommunication, Saint-Petersburg, March 1-2, 2017]. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekomunikacij Publ., 2017. Pp. 57-59. (In Russian)

7. Boev V.D. *Issledovanie adekvatnosti GPSS WORLD i ANYLOGIC pri modelirovanii diskretno-sobytijnyh processov* [A study of the adequacy of GPSS WORLD and ANYLOGIC in modeling discrete-event processes]. St. Petersburg: Voennaya akademiya svyazi imeni marshala Sovetskogo Soyuza S. M. Budennogo Publ., 2011. 404 p. (In Russian)

8. Katalievsky D. Yu. *Osnovy imitacionnogo modelirovanija sistemnogo analiza v upravlenii* [Tutorial Principles of simulation modeling of system analysis in management], 2nd ed. St. Petersburg, Rossiyskaya akademiya narodnogo khozyaystva i gosudarstvennoy sluzhby Publ., 2015. 496 p. (In Russian)

9. Beneta E.V., Kanaev A.K. Formirovanie algoritma upravlenija otkazami v telekommunikacionnoj seti svjazi, postroennoj po tehnologii Carrier Ethernet [Development of control algorithm by failures in the telecommunication network based on Carrier Ethernet technology] *Informacionnye tehnologii na transporte: sbornik materialov sekcii "Informacionnye tehnologii na transporte" jubilejnoy XV Mezhdunar. konf. "Regional'naja informatika – 2016"* [Information technologies at transport: proc. section "Information technologies at transport" XV St. Petersburg International conference "Regional informatics – 2016", Saint-Petersburg, October 26-28, 2016]. St. Petersburg, 2016. Pp. 95-100. (In Russian)

10. Beneta E.V., Kanaev A.K. Analiz funkcionirovanija OAM v tehnologii Carrier Ethernet [Analysis of OAM functions in Carrier Ethernet technology] *72-aja Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija, posvjash-*

*hennaja Dnju radio Sekcija: «Telekommunikacii na zheleznodorozhnom transporte»* [Proceedings of the 72st International Scientific and Technical Conference, cons. Day of radio, 20-28 April, 2017]. Saint-Petersburg, 2017. Pp. 241-242. (In Russian)

11. Beneta E.V., Kanaev A.K., Sakharova M.A. Kompleksnaja matematicheskaja model' processa funkcionirovanija intellektual'noj sistemy upravlenija set'ju Carrier Ethernet [Mathematical metamodel of the process of functioning of the intelligent management system of the Carrier Ethernet network]. *Sbornik dokladov XX Mezhdunarodnoy konferencii po myagkim vychislenijam i izmerenijam (SCM-2017)* [Proceeding of XX International conference on soft computing and measurements, Saint-Petersburg, May 24-26, 2017]. St. Petersburg, 2017. Vol. 1. Pp. 282-285. (In Russian)

12. Kanaev A.K., Oparin E.V. Technique of estimation and forecasting of the technical condition of the synchronization network equipment. *Transport of the Urals*. 2015. No. 1. Pp. 41-47. (In Russian)

13. Kotov V.K., Antonets V.R., Labetskaia G.P., Shmytinskii V.V. *Nauchno-metodicheskie osnovy upravlenija nadezhnost'ju i bezopasnost'ju jekspluatacii setej svjazi zheleznodorozhnogo transporta* [Scientific and methodical foundations for managing the reliability and safety of operation of communication networks of railway transport]. St. Petersburg: Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte, 2012. 193 p. (In Russian)

14. Beneta E.V., Kanaev A.K. The choice of carrier-class telecommunication technology. *Automation, communication and Informatics*. No. 7. Pp. 13-15. (In Russian)

15. Login E.V., Kanaev A.K., Muravtsov A.A. Carrier Ethernet network operation scenario and the assessment of control cycle duration. *Bulletin of scientific research results*. No. 3. Pp. 159-170. URL: <http://brni.info/view/выпуск-24.html#/158>. (In Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Login E.V., Applicant PhD, lecturer at the Department of "Electrical Communication" of the St. Petersburg State Transport University;  
Kanaev A.K., PhD, Full Professor, Head at the Department of "Electrical Communication" of the St. Petersburg State Transport University.