

Н. Ю. Братченко [N. Yu. Bratchenko]  
 В. П. Мочалов [V. P. Mochalov]  
 С. В. Яковлев [S. V. Yakovlev]  
 Д. В. Гостева [D. V. Gosteva]

УДК 621-395.4

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
 КАЧЕСТВОМ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ СЕТЕЙ SDN**

**THE DEVELOPMENT OF IMITATING MODEL OF SYSTEM OF QUALITY  
 MANAGEMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION SERVICES SDN**

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Институт информационных технологий  
 и телекоммуникаций, кафедра инфокоммуникаций, г. Ставрополь, Россия, nb20062@rambler.ru /  
 North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, e-mail: nb20062@rambler.ru

**Аннотация.** Одной из основных задач операторов инфокоммуникационных сетей является выполнение обязательств по предоставлению сервисов и услуг связи, определяемых договором об уровне обслуживания Service Level Agreement (SLA).

**Материалы и метод, результат и обсуждения.** В статье представлена имитационная модель системы управления качеством инфокоммуникационных услуг оператора связи, обеспечивающая решение задач рационального распределения аппаратно-программных ресурсов системы между сложными высокотехнологичными услугами связи, осуществление конфигурации услуг с требуемыми параметрами SLA, определение необходимых значений сервисных индикаторов, сравнение их с пороговыми показателями. Для осуществления имитационных экспериментов с разработанной моделью используется имитатор сетей Петри NetStar 2.02.

На основе формализма раскрашенных сетей Петри (Coloured Petri Net, CPN) и возможностей протокола OpenFlow (OF-CONFIG) по удалённому конфигурированию сетевых элементов и динамическому распределению аппаратно-программных ресурсов SDN сети, разработана имитационная модель системы управления качеством инфокоммуникационных услуг оператора связи, обеспечивающая решение задач рационального распределения аппаратно-программных ресурсов сети между сложными высокотехнологичными услугами связи, осуществление конфигурации услуг с требуемыми параметрами SLA, определение необходимых значений сервисных индикаторов и сравнение их с пороговыми показателями.

Для осуществления имитационных экспериментов с разработанной моделью используется имитатор сетей Петри NetStar 2.02. Представленная модель дает возможность проведения исследования сети и ее фрагментов, получения их основных показателей качества, поиска целесообразных решений по ее конфигурированию, обеспечивая тем самым повышение качества обслуживания пользователей, снижение затрат на эксплуатацию сетей и разработку ранее недоступных услуг и сервисов.

**Заключение.** Разработанная имитационная модель системы управления качеством инфокоммуникационных услуг оператора связи обеспечивает формализацию процесса функционирования SDN сети, учитывая ее структуру, параметры и вероятностно-временные характеристики, решение задачи рационального распределения ее аппаратно-программных ресурсов между сложными высокотехнологичными услугами, осуществление конфигурации услуг с требуемыми параметрами SLA, при установке необходимых значений сервисных индикаторов, сравнения их с пороговыми показателями, при выходе показателей за допустимые границы SDL, осуществление перераспределения ресурсов сети.

**Ключевые слова:** система управления, качество услуг связи, управление качеством обслуживания, договор об уровне обслуживания, проблемы и инциденты, сети Петри, имитатор сетей Петри.

**Abstract.** One of the main tasks of infocommunication network operators is to fulfill the obligations to provide services and communication services defined by the Service Level Agreement (SLA).

**Materials and method, results and discussions.** The article presents a simulation model of the quality management system of information and communication services of a telecom operator, providing solutions for the rational distribution of hardware and software resources of the system between complex high-tech communication services, configuration of services with the required SLA parameters, determination of the required values of service indicators and comparison with threshold indicators. For carrying out simulation experiments with the developed model, NetStar 2.02 Petri net simulator is used.

Based on the colored Petri Net (CPN) formalism of colored networks and OpenFlow protocol (OF-CONFIG) capabilities for remote configuration of network elements and dynamic distribution of SDN network hardware and software resources, a simulation model of an information and communication service provider's communication quality management system was developed that provides a solution

tasks of rational distribution of network hardware and software resources between complex high-tech communication services, configuration of services with the required SLA parameters, Determination of the required values of service indicators and their comparison with threshold indicators.

For the implementation of simulation experiments with the developed model, the NetStar 2.02 Petri net simulator is used. The presented model makes it possible to conduct a study of the network and its fragments, obtain their basic quality indicators, search for expedient solutions for its configuration, thereby ensuring an increase in the quality of customer service, reducing the cost of operating networks and developing previously unavailable services and services.

**Conclusion.** The developed simulation model of the operator's infocommunication service quality management system provides formalization of the SDN network functioning process, taking into account ITS structure, parameters, and probabilistic-time characteristics, solving the problem of rational distribution of its hardware and software resources among complex high-tech services, configuring services with the required SLA parameters, setting the required service indicator values, comparing them with threshold indicators, and exceeding the SDL acceptable limits, reallocation of network resources.

**Key words:** control system, quality of communication services, quality of service management, service level agreement, problems and incidents, Petri nets, Petri nets simulator.

This study is funded by the Russian Foundation for Basic Research in accordance with research project No. 19-07-00856\19.

**Введение.** Одной из основных задач операторов инфокоммуникационных сетей является выполнение обязательств по предоставлению сервисов и услуг связи, определяемых договором об уровне обслуживания Service Level Agreement (SLA) [1-3]. SLA фиксирует основные показатели качества обслуживания (англ. Quality ofService, QoS), которые оператор связи должен гарантировать клиенту. Концепция программно-конфигурируемых сетей SDN определяет новую парадигму построения сетей, разделение уровней управления и передачи данных, обеспечивает автоматизацию процедур администрирования. Сложность инфраструктуры программно-конфигурируемой сети SDN, структурная схема которой приведена на рисунке 1, многообразие ее сетевых служб и приложений, разнообразие используемого оборудования систем поддержки качества, вызывают необходимость создания централизованной системы управления. При этом, основой для поддержания требуемых SLA показателей качества обслуживания является наличие магистралей с высокими пропускными способностями, высокоскоростных маршрутизаторов и коммутаторов, современных высокопроизводительных контроллеров, а также системы динамического распределения ресурсов.

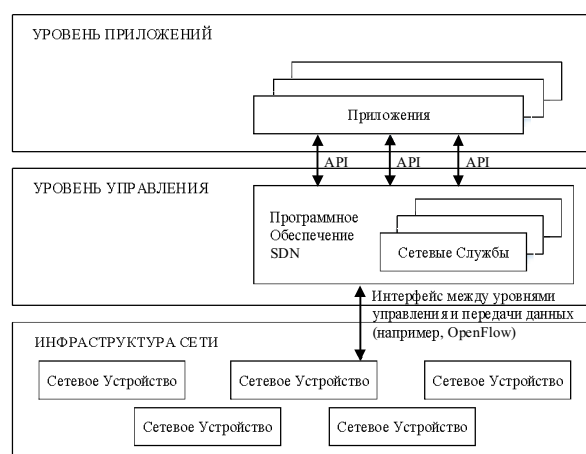


Рис. 1. Структурная схема программно-конфигурируемой сети SDN /

Fig. 1. Block diagram of a software-configured SDN network

Решить данную задачу можно путем разработки сети в соответствии с концепцией SDN, формализации процессов ее функционирования, применения механизмов обеспечения качества услуг, разработки и исследования модели динамического перераспределения ресурсов аппаратно-программного комплекса между сложными высокотехнологичными услугами при осуществлении их конфигурации. Известно, что организация обмена данными в программно-конфигурируемых сетях осуществляется под управлением протокола OpenFlow (OF-

CONFIG), который предоставляет возможности удалённого конфигурирования сетевых элементов, обеспечивает динамическое распределение аппаратно-программных ресурсов SDN, совместимых с OpenFlow.

Например, здесь может быть решена задача логического разделения ресурсов любых элементов SDN сети на несколько частей, обеспечивая их динамическое распределение при увеличении интенсивности потоков пакетов. Другим путем повышения качества обслуживания пользователей SDN сети является обеспечиваемая протоколом OpenFlow (OF-CONFIG) возможность использования логического уровня управления, при котором реализуется распределенное управление независимых фрагментов сети за счет применения многопроцессорных систем. Данные возможности протокола используются администратором сети путем тонкой настройки ее приложений. Наиболее целесообразные решения могут быть получены при этом за счет предварительной оценки параметров SDN сети, при использовании методологии моделирования динамики дискретных систем, основанной на формализме раскрашенных сетей Петри Coloured Petri Net (CPN).

**Модель системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе формализма сетей Петри**

Типовая структура системы управления качеством услуг оператора связи, представленная в документах МСЭ-Т У.2011, приведена на рис. 2 Уровни показателей качества, рассматриваемых в SLA, приведены на рис. 3.

Для пользователя важными индикаторами качества являются как технические (полоса пропускания, задержка доставки, вариация задержки, доля потерь, процент отказов), так и сервисные показатели (работа службы поддержки, сроки ответов на запросы, сроки устранения проблем и инцидентов и др.) [4].

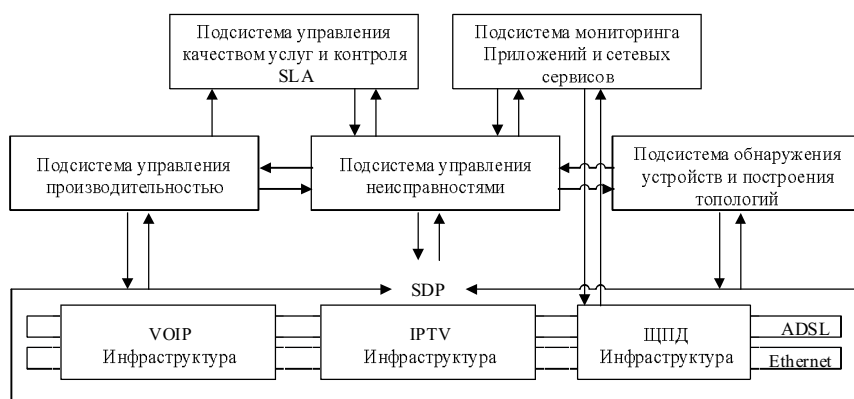


Рис. 2. Системы управления качеством услуг оператора связи / Fig. 2. Telecommunications operator service quality management system

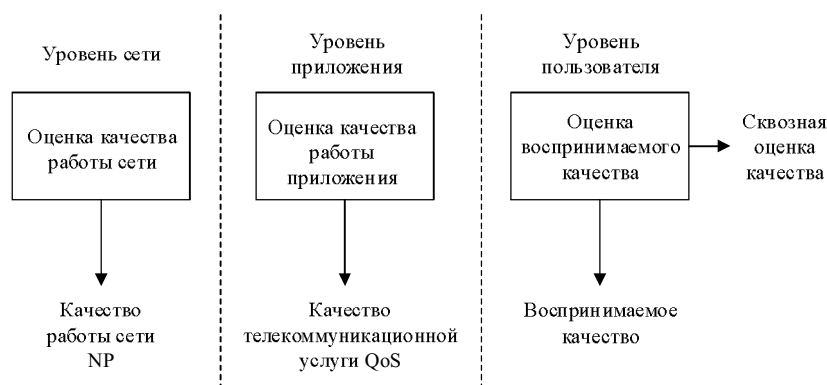


Рис. 3. Уровни показателей качества в SLA / Fig. 3. Levels of quality indicators in SLA

В основу приведенной на рис. 4 схемы процесса управления качеством обслуживания положены рекомендации нормативных положений МСЭ-Т У. 2001. Данная схема включает в себя множество процессов, обеспечивающих анализ и реализацию плана обеспечения качества сервисов и услуг, элементы мониторинга и конфигурирования сети и услуг, решение проблем обслуживания, устранения инцидентов и проблем, поддержки и восстановления сети.



Рис. 4. Схема процесса управления качеством обслуживания /  
Fig. 4. Scheme of the quality of service management process

Реализация данной схемы в компаниях связи осуществляется в соответствии с моделью, представленной на рис. 5 [5]. Поддержка требуемого уровня качества обслуживания предполагает решение задач мониторинга состояния ресурсов сети, обработки инцидентов и проблем, мониторинга SLA, определения ограничений SLA, обнаружения проблем трафика, управления конфигурациями и сетевыми элементами. Система управления должна давать возможность оператору осуществлять конфигурацию услуг с требуемыми параметрами SLA, устанавливать необходимые значения сервисных индикаторов, сравнивать их с пороговыми показателями, при выходе показателей из допустимых границ, осуществлять расчет новых индикаторов SLA, предотвращая изменение их значений и осуществляя тем самым переконфигурацию системы [6].

Для рационального распределения аппаратно-программных ресурсов системы между сложными высокотехнологичными услугами, обеспечивая тем самым заданное в SLA качество обслуживания, целесообразно использовать методологию моделирования динамики дискретных систем, основанную на формализме раскрашенных сетей Петри Coloured Petri Net (CPN).

На рис. 6 дано формальное представление взаимосвязи данных процессов в нотациях сетей Петри.

Модель включает три составных перехода (Service Execution, Incident Management, Service Level Management), представляющих отдельные сети Петри, моделирующие соответствующие процессы. Положение метки Request инициирует начало процесса. Положение метки Complete инициирует окончание процесса. Положение метки Detection инициирует конфликт. Положение метки Closing инициирует окончание конфликта. Позиция P0 инициирует обнаружение инцидентов при возникновении запроса. Позиция Timer и её входные и выходные ребра оценивают наибольшее ожидаемое время выполнения услуги Tmax.ож. Метки переходов 2 и 5 обеспечивают оценку обработки запросов на услуги. Все остальные позиции инициируют случаи отказов в обслуживании:

- 1 – превышение порога;
- 3 – приостановка реализации услуги;
- 4 – время устранения конфликтов.

Процесс поддержки требуемого уровня обслуживания описывается системой Coloured Petri Net Modeling Language (CPN ML), а характеристики сети корректируются в соответствии с договором об уровне обслуживания SLA.

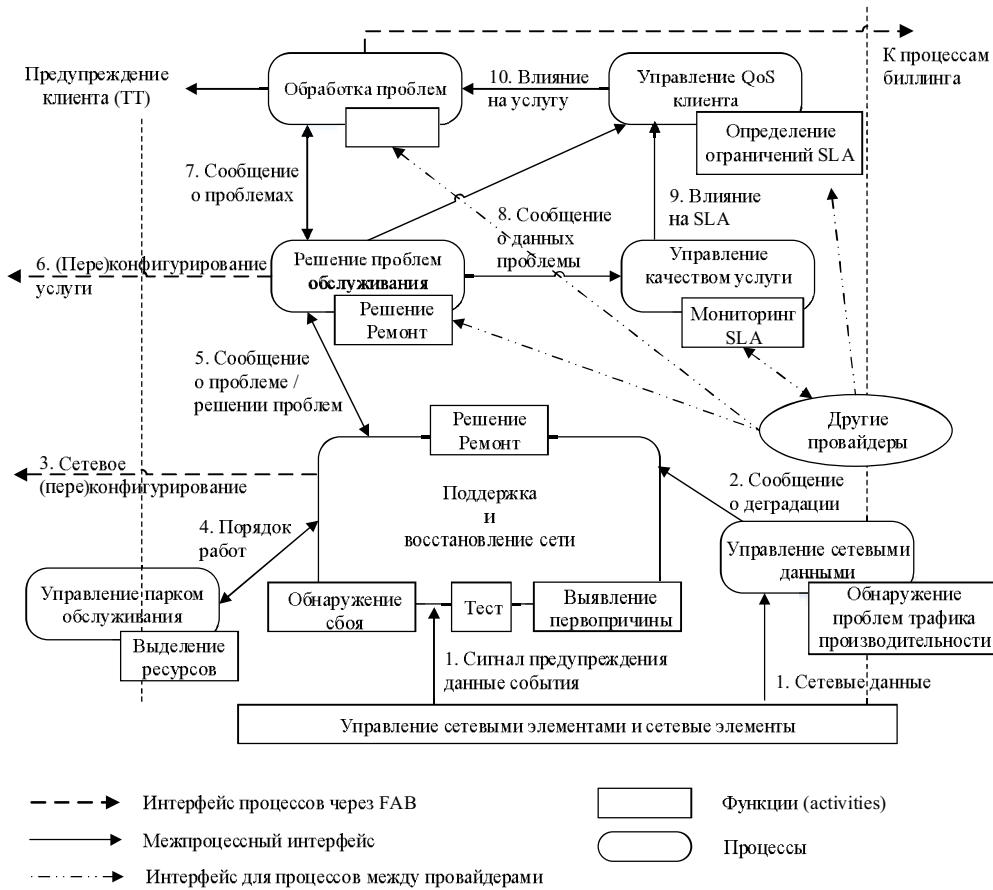


Рис. 5. Модель поддержки уровня обслуживания / Fig. 5. Service Level Support Model

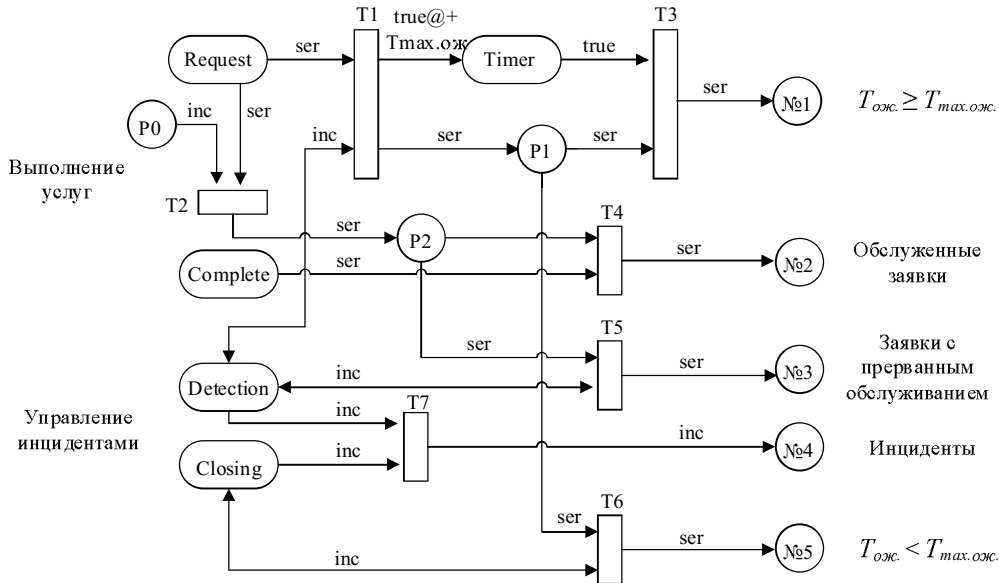


Рис. 6. Сеть Service Level Management / Fig. 6. Service Level Management Network

Результатом выполнения данного алгоритма является устранение негативного влияния инцидентов и проблем на реализацию услуг, а также устранение повторения проблем. Задавая допустимые пределы изменения индикаторов SLA можно реализовать эффективную функциональность системы управления.

Схема алгоритма процесса управления проблемами и инцидентами, в соответствии с нормативными документами МСЭ-Т, представлена на рис. 7 [7].

Для спецификации процесса управления проблемами и инцидентами используются следующие выходные данные:

- распределение времени на решение проблемы;
- распределение времени для идентификации причины проблемы;
- распределение ресурсов;
- эффективность работы группы управления проблемами.

Маркировки всех позиций моделируют процессы обнаружения инцидентов и проблем, закрытие данных процессов. Очевидно, что отдельным процессом, реализуемым схемой поддержки услуг, является процесс управления инцидентами. Схема сети Петри управления проблемами представлена на рис. 8. Цветовые множества и их расшифровки, переменные и функции представлены в таблице 1.

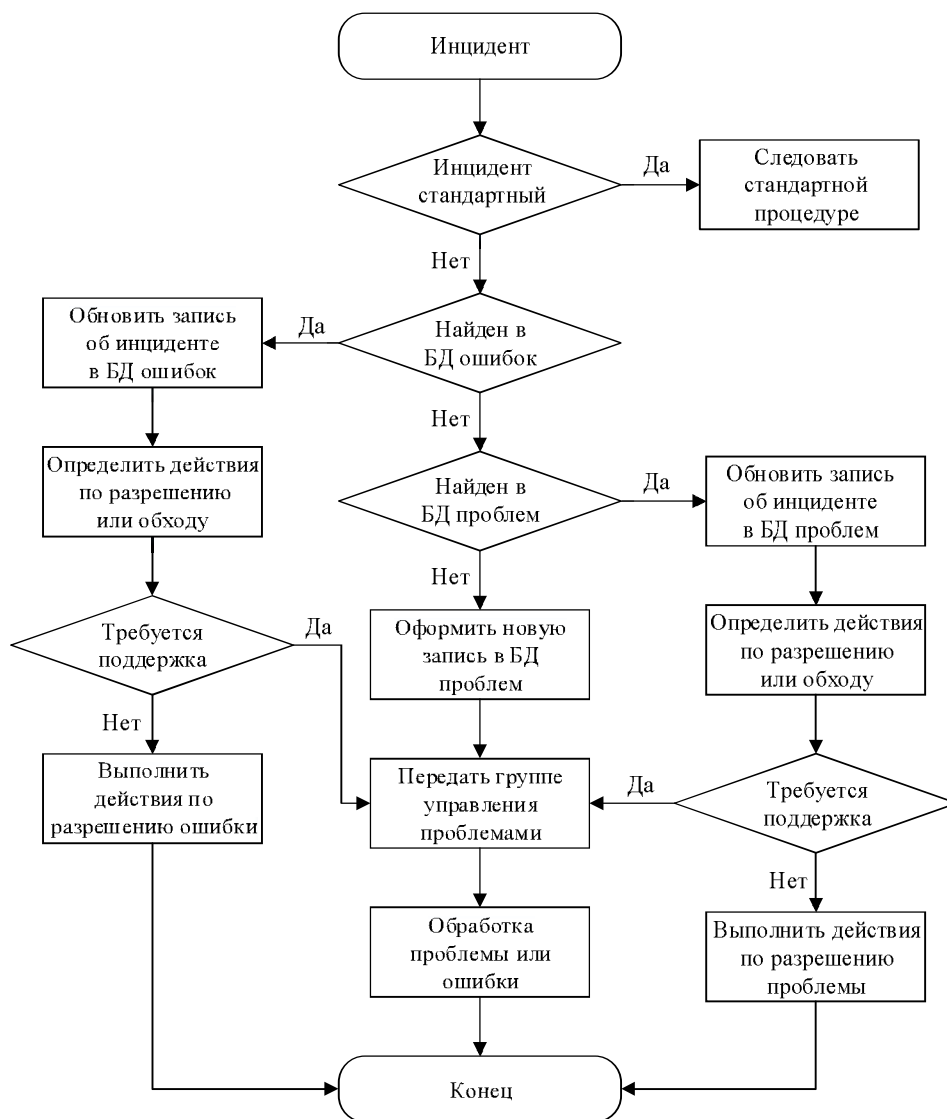


Рис. 7. Схема алгоритма процесса управления проблемами и инцидентами /  
Fig. 7. Flowchart of the problem and incident management process

Схема сети Петри управления проблемами приведена на рисунке 9. Переходы TN0, TP0, TE0, T Pro Map, T Pro, T Err, TP1, TE1, TP2, TP3, TE2, TE3, TP6, TE5 обеспечивают контроль проблем, контроль ошибок и контроль группы ошибок, моделируют обнаружение и обновление данных проблем и ошибок в соответствующих базах данных, обрабатывают проблемы и ошибки, обеспечивают обращения к группам управления проблемами, инцидентами, ошибками. Выражения на ребрах графа дополнительно обеспечивают количество возникновений инцидентов, проблем или ошибок [7-9]. Они соответствуют выражению  $(p, N, n, l)$ , где:

p – текст «N Problem», «Problem», «Error»;  
 N – номер проблемы или ошибки;  
 n – количество появления данной проблемы или ошибки.

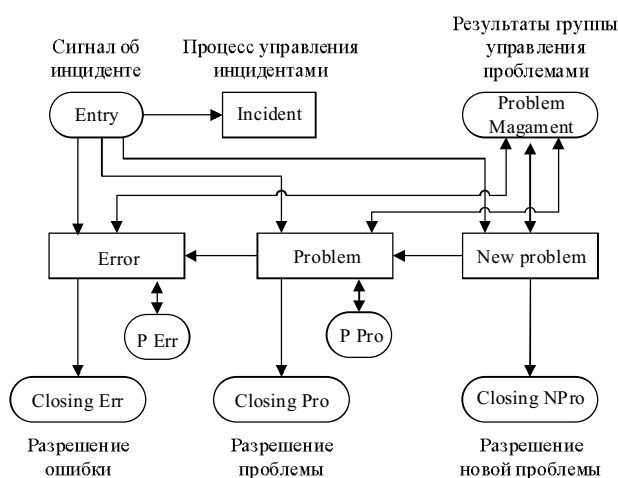


Рис. 8. Схема процесса управления проблемами и инцидентами /  
 Fig. 8. Diagram of the problem and incident management process

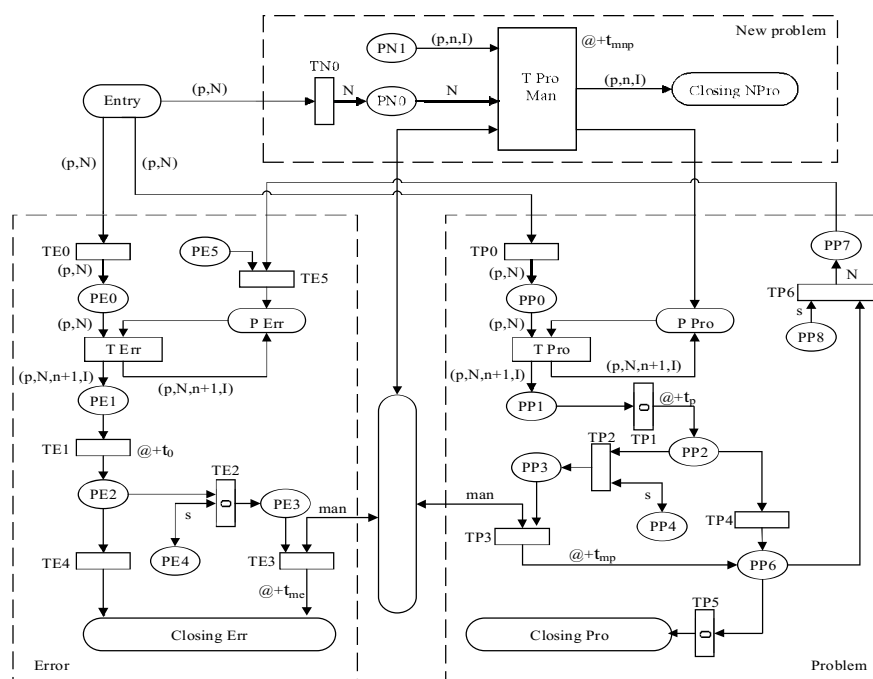


Рис. 9. Схема сети Петри управления проблемами / Fig. 9. Diagram of a Petri net for problem management

Таблица 1

Данные для моделирования процессов

Table 1

Data for modeling processes

NUM = integer; var man, e: NUM;	Средства, реализующие управление проблемами
INT = integer timed; var N, n, t: INT;	Данные по времени выполнения
DATA = string; var p, l: DATA;	Типы и пути устранения ошибок
Pro = product DATA*INT timed;	Формализация исходных данных

NPRO = product DATA*INT*DATA timed;	Формализация ошибок
PRO = product DATA*INT*INT*DATA timed;	Формализация проблем
Ten0; var s: Ten0; Ten1; var r: Ten1; fun Ok (s: Ten0, r: Ten1) = (r<=s);	Направления резервных путей реализации процесса
TMNP; fun Tmnp () = TMNP. ran();	Распределение времени реализации наступившей проблемы
TMP; fun Tmp () = TMP. ran();	Функция распределения времени поддержки
TME; fun Tme () = TME. ran();	Функция распределения реализации ошибок
TP; fun Tp () = TP. ran();	Функция распределения времени реализации ошибки.
TE; fun Te () = TE. ran();	Функция распределения среднего времени обработки.

Для осуществления имитационных экспериментов с разработанной моделью используется имитатор сетей Петри NetStar 2.02. Элементы структуры сети и их параметры вносятся в рабочее поле области построения модели (рис. 10). Имитация ведется в режимах фиксированного временного шага и от события к событию.

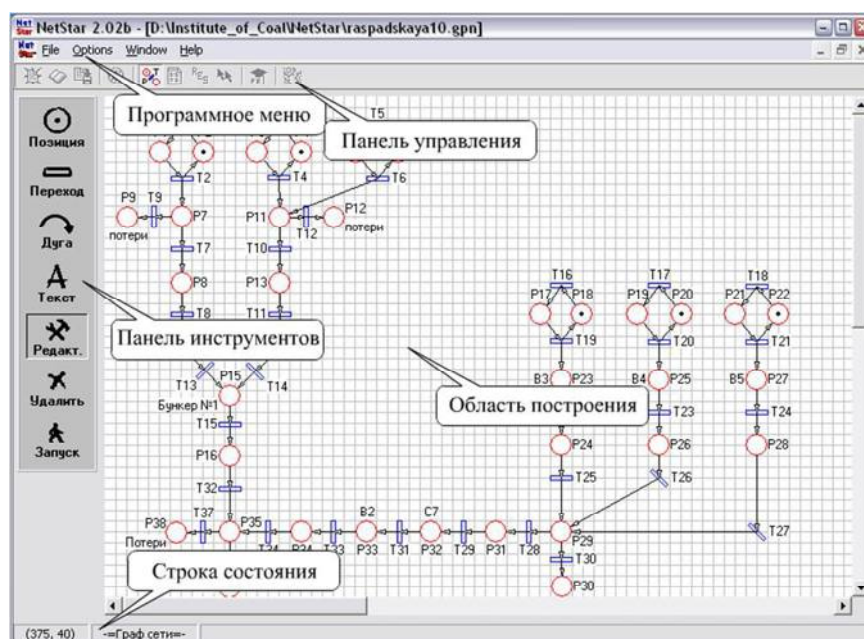


Рис. 10. Построение имитационной модели SDN на основе имитатора сетей NetStar 2.02 /  
Fig. 10. Building a simulation model of SDN based on a simulator of networks NetStar 2.02

**Заключение.** Разработанная имитационная модель системы управления качеством инфоком-муникационных услуг оператора связи обеспечивает формализацию процесса функционирования SDN сети, учитывая ее структуру, параметры и вероятностно-временные характеристики, решение задачи **рационального распределения** ее аппаратно-программных **ресурсов** между сложными высокотехнологичными услугами, осуществление конфигурации услуг с требуемыми параметрами SLA, при установке необходимых значений сервисных индикаторов, сравнения их с пороговыми показателями, при выходе показателей за допустимые границы SDL, осуществление перераспределения ресурсов сети.

**Финансирование**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00856\19.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS (научная монография). Ставрополь: СКФУ, 2013. 194 с.
2. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю., Яковлев С. В. Разработка методик построения распределенной системы управления телекоммуникационными сетями на основе технологии CORBA // Вестник СевКавГТУ, №6(45). – Ставрополь: СевКавГТУ. С.50-57.
3. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю. Алгоритм субоптимального распределения программных компонент распределенной системы управления телекоммуникациями // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015. № 2(47). С. 56-60.
4. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю., Яковлев С. В. Беспроводная автоматизированная система сбора и обработки данных (научная статья). Научно-технический журнал «Теория и техника радиосвязи» – Воронеж: Изд-во ОАО Концерн «Созвездие», 2014. № 1. – С. 79-87.
5. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю., Яковлев С. В. Модель управления вызовами системы управления телекоммуникациями на основе технологии CORBA. Научный журнал «Вестник Северо-Кавказского федерального университета». – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. № 1. – С. 21-26.
6. Мочалов В. П., Братченко Н. Ю., Яковлев С. В. Архитектура распределенной системы управления телекоммуникационными сетями на основе технологии CORBA (научная статья). Научно-технический журнал «Теория и техника радиосвязи» Воронеж: Изд-во ОАО Концерн «Созвездие», 2014. № 3. – С. 19-26.
7. Мочалов В. П., Ямбулатов Э. И., Братченко Н. Ю., Яковлев С. В. Разработка отказоустойчивых распределенных систем управления телекоммуникационными сетями и услугами (научная монография). – Ставрополь: изд-во СКФУ, 2015. 147 с.
8. Мочалов В. П., Яковлев С. В., Братченко Н. Ю., Алгоритм интеграции сетевых приложений распределенной системы управления телекоммуникациями // Современная наука и инновации, 2017. №3 (19). С.83-88.
9. Братченко Н. Ю., Мочалов В. П., Яковлев С. В. Модель системы функциональных интерфейсов управляемых сетевых устройств // Современная наука и инновации. 2018. № 2. С. 61-65.

## REFERENCES

1. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu. Razrabotka protsessno-orientirovannoy sistemy upravleniya kachestvom infokommunikatsionnykh uslug na osnove kontseptsii NGOSS (nauchnaya monografiya). Stavropol': SKFU, 2013. 194 s.
2. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Razrabotka metodiki postroyeniya raspredelennoy sistemy upravleniya telekommunikatsionnymi setyami na osnove tekhnologii CORBA // Vestnik SevKavGTU, №6(45). Stavropol': SevKavGTU. S.50-57.
3. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu. Algoritm suboptimal'nogo raspredeleniya programmykh komponent raspredelennoy sistemy upravleniya telekommunikatsiyami // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. Stavropol': Izd-vo SKFU, 2015. № 2(47). S. 56-60.
4. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Besprovodnaya avtomatizirovannaya sistema sbora i obrabotki dannykh (nauchnaya stat'ya). Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Teoriya i tekhnika radiosvyazi». Voronezh: Izd-vo OAO Kontsern «Sozvezdie», 2014. № 1. S. 79-87.
5. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Model' upravleniya vyzovami sistemy upravleniya telekommunikatsiyami na osnove tekhnologii CORBA. Nauchnyy zhurnal «Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta». Stavropol': Izd-vo SKFU, 2014. № 1. S. 21-26.
6. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Arkhitektura raspredelennoy sistemy upravleniya telekommunikatsionnymi setyami na osnove tekhnologii CORBA (nauchnaya stat'ya). Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Teoriya i tekhnika radiosvyazi». Voronezh: Izd-vo OAO Kontsern «Sozvezdic», 2014. № 3. S. 19-26.
7. Mochalov V. P., Yambulatov E. I., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Razrabotka otkazoustoychivykh raspredelennykh sistem upravleniya telekommunikatsionnymi setyami i uslugami (nauchnaya monografiya). Stavropol': izd-vo SKFU, 2015. 147 s.
8. Mochalov V. P., Yakovlev S. V., Bratchenko N. Yu. Algoritm integratsii setevykh prilozheniy raspredelennoy sistemy upravleniya telekommunikatsiyami // Sovremennaya nauka i innovatsii, 2017. №3 (19). S.83-88.
9. Bratchenko N. Yu., Mochalov V. P., Yakovlev S. V. Model' sistemy funktsional'nykh interfeysov upravlyaemykh setevykh ustroystv // Sovremennaya nauka i innovatsii. 2018. № 2. S. 61-65.

## ОБ АВТОРАХ

**Братченко Наталья Юрьевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры инфокоммуникаций, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», институт информационных технологий и телекоммуникаций, кафедра инфокоммуникаций, nb20062@rambler.ru, +79187435162, (8652) 95-69-97

**Bratchenko Natalia Yurievna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences Associate Professor, Associate Professor SI NCFU, Stavropol, Russia, nb20062@rambler.ru, +79187435162, (8652) 95-69-97

**Мочалов Валерий Петрович**, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры инфокоммуникаций, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», институт информационных технологий и телекоммуникаций, кафедра инфокоммуникаций, nb20062@ Rambler.ru, +7 9624004447, (8652) 95-69-97

**Mochalov Valeriy Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, SI NCFU, Stavropol, Russia, nb20062@ Rambler.ru, +79187435162, (8652) 95-69-97

**Яковлев Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инфокоммуникаций, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», институт информационных технологий и телекоммуникаций, кафедра инфокоммуникаций, YakovlevSV@yandex.ru, +79283100210, (8652) 95-69-97

**Yakovlev Sergey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Associate Professor SI NCFU, Stavropol, Russia

Дата поступления в редакцию: 16.04.2019

После рецензирования: 11.08.2019

Дата принятия к публикации: 04.09.2019