

Н. Ю. Братченко [N. Yu. Bratchenko]

В. П. Мочалов [V. P. Mochalov]

С. В. Яковлев [S. V. Yakovlev]

УДК 621-395.4

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАКАЗОВ  
ОПЕРАТОРА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СЕТИ ПЕТРИ**

**SIMULATOR MODEL OF ORDER SERVICE SYSTEM OF THE COMMUNICATION  
OPERATOR BASED ON THE PETRI NET**

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия,  
e-mail: oleg\_military@inbox.ru

**Аннотация.** Существующие централизованные системы эксплуатационного управления телекоммуникациями не в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к сетям нового поколения из-за ограничений, связанных с формированием новых услуг связи, гибкости и удобства их модернизации.

**Материалы и методы.** Модификация существующих и развертывание новых услуг, с учетом использования огромного количества разнообразного сетевого оборудования, в том числе нетрадиционного, предполагает выполнение работ по перераспределению элементов самой системы управления, каждого сетевого узла, требует тесной координации ресурсов оператора. Обоснованные решения данных задач предлагается получать путем формального описания процессов обслуживания вызовов сетями Петри, проведения имитационного моделирования с использованием платформы CPN Tools.

**Результаты.** В представленной работе показано, что реализация новых технологий управления сетями связи может быть осуществлена путем совершенствования функциональной структуры ее системы обслуживания. Обоснованные решения при этом можно получить за счет формального описания процессов обслуживания запросов и проведение их моделирования. Подробные статистические исследования системы обслуживания заказов могут быть проведены с использованием платформы моделирования сетей Петри CPN Tools, обеспечивающей исследование показателей качества системы путем имитации динамики функционирования СП.

**Заключение.** При помощи языка CPN ML можно создавать собственные функции для более точного описания поведения моделей. Сочетание графического представления СП и системы программирования CPN ML обеспечивает проведение исследования динамики модели, получения основных показателей качества обработки запросов на обслуживание: математического ожидания, моментов времени обслуживания, наиболее вероятного числа одновременно обслуживаемых запросов, а также их распределений.

**Ключевые слова:** услуги связи, имитационное моделирование, сети Петри, модели предоставления услуг, примеры реализации услуг, платформа CPN Tools.

**Abstract.** The existing centralized systems for operational management of telecommunications do not fully comply with the requirements for new generation networks due to the limitations associated with the formation of new communication services, the flexibility and convenience of their modernization.

**Materials and methods.** Modification of existing and deployment of new services, taking into account the use of a huge number of diverse network equipment, including non-traditional, involves the work on the redistribution of elements of the control system itself, each network node, requires close coordination of operator resources. It is proposed to obtain justified solutions to these problems by formally describing the processes of servicing calls by Petri nets, conducting simulation using the CPN Tools platform.

**Results.** In the presented work, it is shown that the implementation of new communication network management technologies can be carried out by improving the functional structure of its service system. In this case, justified solutions can be obtained through a formal description of the processes for servicing requests and conducting their modeling. Detailed statistical studies of the order service system can be carried out using the Petri nets modeling platform CPN Tools, which provides the study of system quality indicators by simulating the dynamics of the functioning of the joint venture.

**Conclusion.** Using CPN ML, you can create your own functions to more accurately describe the behavior of models. The combination of the graphical representation of the joint venture and the CPN ML programming system provides a study of the dynamics of the model, obtaining the main indicators of the quality of processing service requests: mathematical expectation, service time points, the most probable number of simultaneously serviced requests, and their distributions.

**Key words:** communication services, simulation modeling, Petri nets, service delivery models, service implementation examples, CPN Tools platforms.

**Введение.** Применяемые сегодня централизованные системы обслуживания заказов оператора связи могут реализовать стандартные функции управления: сетью (Network Management, Inventory), планированием сети (Planning, Provisioning, Network Performance), мониторингом производительности сети (Fault Management), качеством обслуживания сети (Service Quality/Performance), IP-трафиком, услугами, доступом, идентификацией пользователей, материально-техническим снабжением (Inventory/Resource Management), управлением запасами (Order Management), управлением учетом (Accounting Management), управлением уровнем обслуживания (Service Level Agreement Management) [1, 2]. Однако, сложность конфигурации и интеграции с фрагментами сетей связи является сдерживающим фактором их применения многими операторами связи.

Предлагаемые вендорами решения дороги и далеко не в полной мере отражают потребности заказчиков. Решения интеграторов систем чаще всего принимаются по отдельности, а не в контексте общей картины управления бизнесом предприятия связи. Такие системы управления чаще всего локализованы, ориентированы на одного производителя, не обеспечивают поддержку всего многообразия оборудования предприятия связи. Оператору необходимо постоянно приближать их к реализуемым бизнес-процессам, адаптировать под свое оборудование, настраивать под свои задачи, осуществлять гибкую перестройку управляющих воздействий при изменении структуры решаемых задач [2,5]. Данные недостатки не позволяют эффективно создавать и реализовывать новые виды услуг в короткие сроки, повышать качество уже существующих услуг, сокращать операционные издержки, предотвращать сбои сети и отказы в предоставлении услуг, снижают востребованность их потребителями.

Модификация существующих и развертывание новых услуг, с учетом использования огромного количества разнообразного сетевого оборудования, в том числе нетрадиционного, предполагает выполнение работ по перераспределению элементов самой системы управления, каждого сетевого узла, требует тесной координации ресурсов оператора. Трансформация систем управления повсеместно признается необходимой [3, 4, 5], однако сложность проблемы является сдерживающим фактором ее решения. Совершенствование технологий управления и сокращение операционных издержек на создание новых услуг связи, может осуществляться путем наращивания дорогостоящего парка сетевого и канального оборудования.

Очевидно, что более целесообразным методом решения проблемы будет являться устранение избыточности функциональной структуры системы, ее оптимизация, снижение системных затрат, обеспечивающих улучшение сервиса, связанного с качеством удовлетворения потребителя и повышение клиентоориентированности предприятия. Обоснованные решения при этом можно получить за счет формального описания процессов формирования услуг, определение их показателей качества путем моделирования.

#### **Разработка имитационной модели системы обслуживания заказов**

Формальная процедура обслуживания вызовов оператора связи (ITU-T, Recommendation Q1200), представлена на рис. 1 в виде соответствующей модели и содержит базовые функциональные элементы создания и реализации логики услуг.

Обеспечивающие данную процедуру модели приведены на рис. 2, 3 (ITU-T, Recommendation Q1400) [6, 7].

Процесс создания новой услуги (новые программные средства) реализуется путем объединения отдельных фрагментов записей базы данных системы обслуживания в различные комбинации. При этом, для реализации процесса выполнения логики новой услуги необходимо определить только соответствующие триггерные точки базы данных, изменений программного обеспечения при этом не производится [8, 9].

Используя данные формальные модели базовых процессов обслуживания вызовов (ПОВ), логику создания и реализации услуг можно описать временными сетями Петри, представленными на рисунках 4, 5. Соответствующие операции базовых ПОВ приведены в табл. 1.

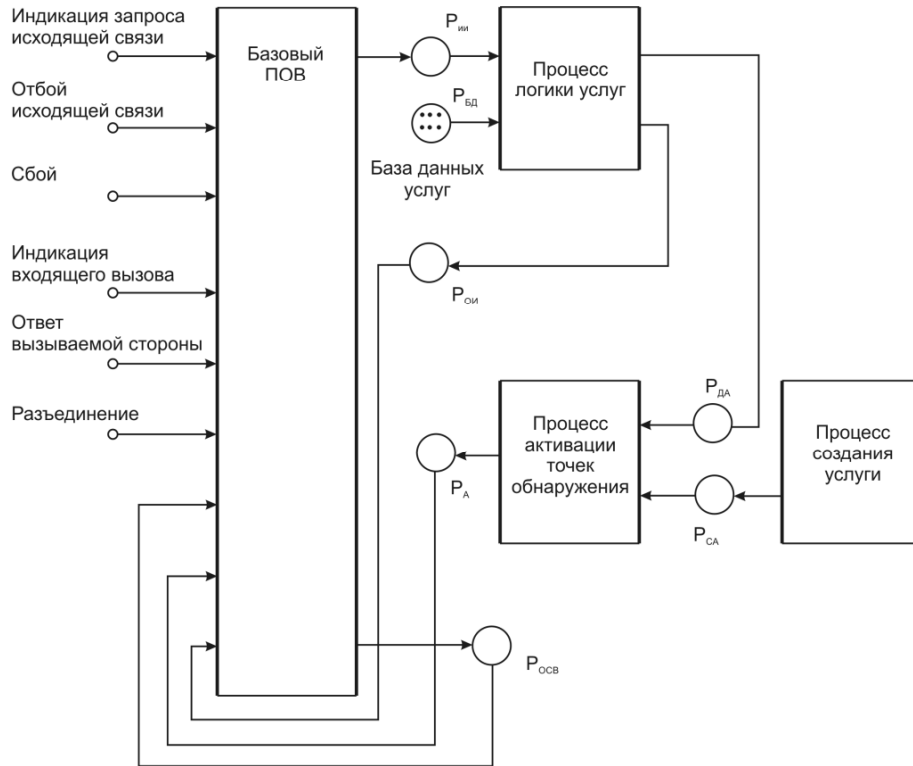


Рис. 1. Система управления телекоммуникациями

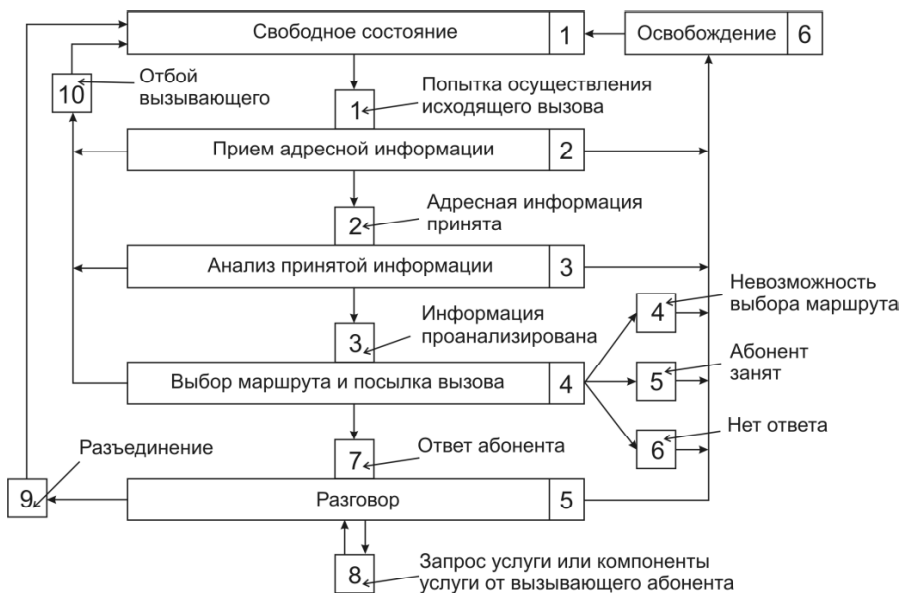


Рис. 2. Платформа управлению сетью

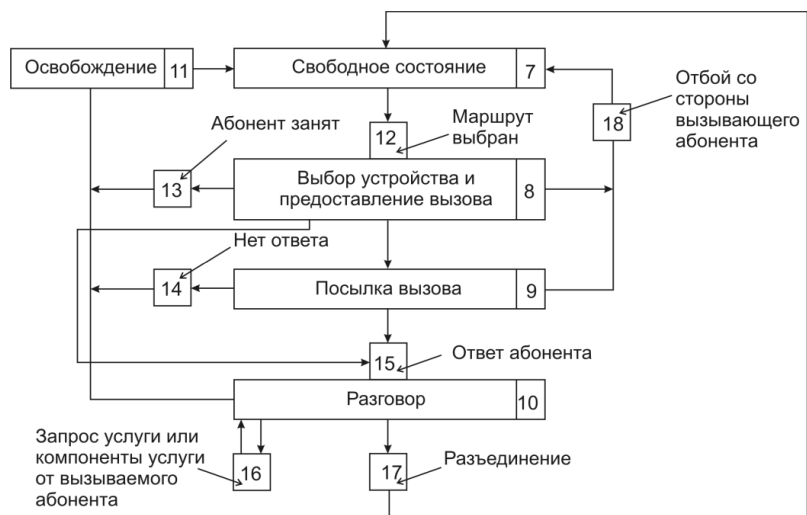


Рис. 3. Схема алгоритма обмена

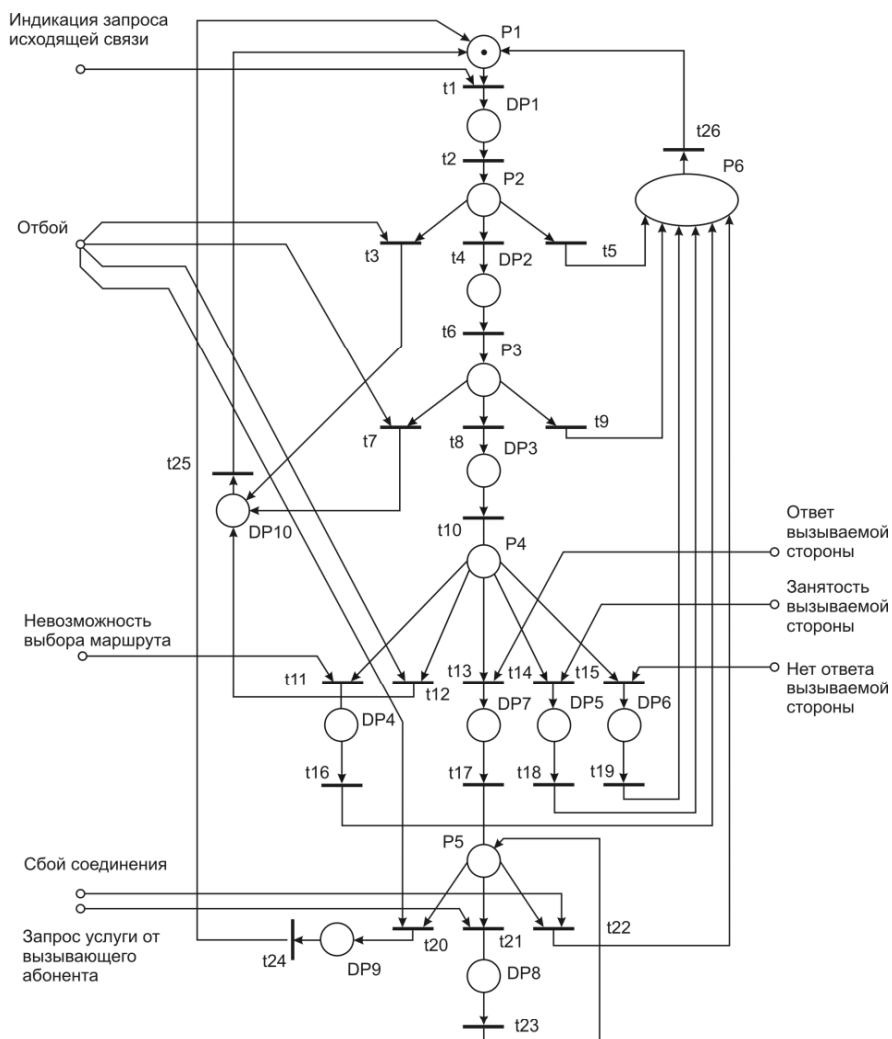


Рис. 4. Схемы обмена данными

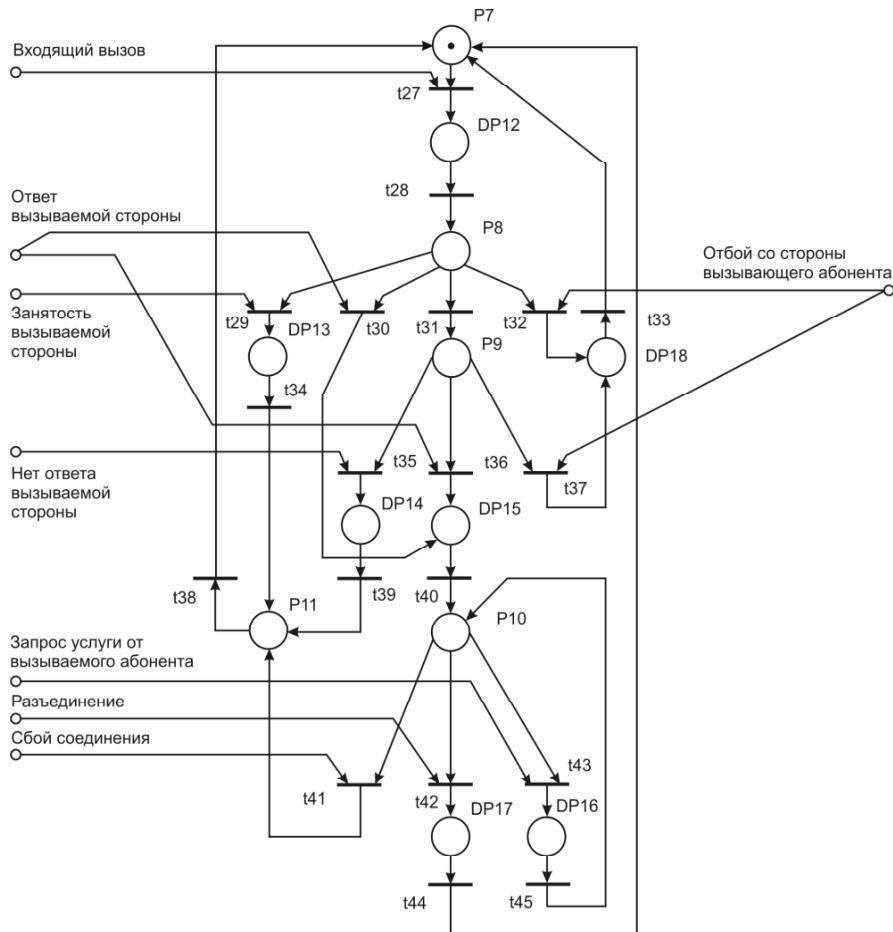


Рис. 5. Результаты расчетов ПКЗ

Таблица 1

Операции базового ПОВ

Переходы СП	Операции	Время, мс
t1	Связь установлена	5
t2	прием информации	5
t3, t7, t12, t20	Отказ обслуживания	5
t4	прием завершен	10
t5	сбой	5
t6	контроль информации	5
t8	Окончание контроля	10
t9	Устранение искажений	5
t10	Запрос сеанса связи	5
t11	Маршрут загружен	5
t13	запрос ответа	15
t14	Канал занят	10
t15	ожидание ответа	10
t16, t18, t19, t22	Канал свободен	40
t17	Передача данных	20
t21	запрос на реализацию услуги	10
t23	Завершение обслуживания	20
t24, t25, t26	Ожидание нового запроса	5
t27	Освобождение ресурса	10
t28	выбор ресурса	15

t29	Определение свободного ресурса	10
t30, t36	Ожидание ответа	15
t31	Передача извещения	20
t32, t37	Передача сообщения	15
t33, t38, t44	ожидание	10
t34, t39, t41	Выбор маршрута	10
t35	ожидание ответа	10
t40	Передача данных	20
t42	Освобождение канала	20
t43	запрос новой слуги	10
t45	Конец связи	20

Анализ представленных моделей показывает, что выполнение ПОВ обеспечивается параллельными разветвленными процессами с  $l$  ветвями. В каждой ветви реализуется  $n$  путей передачи, выбираемых в зависимости от типа формируемой услуги длительностью  $t_{ji}$ . Среднее значение времени ожидания выполнения ПОВ можно определить как величину

$$M(t)_j = \sum_{i=1}^{n_j} t_{ji} P_{ji},$$

а математическое ожидание времени выполнения заявки на услугу

$$M(t) = \sum_{j=1}^l m_j \sum_{i=1}^{n_j} t_{ji} P_{ji}, \quad \sum_{j=1}^l m_j = 1,$$

где  $P_{ij}$  – вероятности выбора альтернативных путей в  $j$ -й ветви.

Данный подход дает возможность определить математическое ожидание времени выполнения заявки на реализуемую услугу.

На рис. 6 и 7 приведены примеры реализации услуг FPH (бесплатный вызов) и ACC (вызов по карте) на основе временных сетей Петри.

Разработанные модели дают возможность определить статистические характеристики протокола сигнализации данной системы управления.

Например, количество пользователей  $N_{FPH} = 1500$  чел., а  $N_{ACC} \approx 30000$  чел.  $\Delta_{FPH} = 5$ ,  $\Delta_{ACC} = 0,5$ .

Тогда, интенсивность поступления запросов на услуги равны:

$$\lambda_{ACC} = \frac{N_{ACC} \cdot \Delta_{ACC}}{3600} = \frac{30000 \cdot 0,5}{3600} = 4,16 \frac{1}{c}.$$

Вероятности появления услуги равна:

$$P_{FPN} = \frac{\lambda_{FPN}}{\lambda_{FPN} + \lambda_{ACC}} = \frac{2,18}{2,18 + 4,16} = 0,34, \quad P_{FPH} = \frac{\lambda_{ACC}}{\lambda_{FPN} + \lambda_{ACC}} = \frac{4,16}{2,18 + 4,16} = 0,66.$$

Среднее значение времени реализации заявки:

$$M(t) = P_{FPH} \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i + P_{ACC} \cdot \sum_{j=1}^m P_j \cdot t_j,$$

где  $P_i, P_j$  – вероятности выполнения процедуры при реализации услуги;

$t_i, t_j$  – время выполнения процедуры.

Поставим в соответствие вероятности  $P_i$  и  $P_j$  вероятностям выбора альтернативных путей при срабатывании СП, тогда

$$M(t) = 0,34 \cdot 205,5 + 0,66 \cdot 357,5 = 306 \text{ мс}.$$

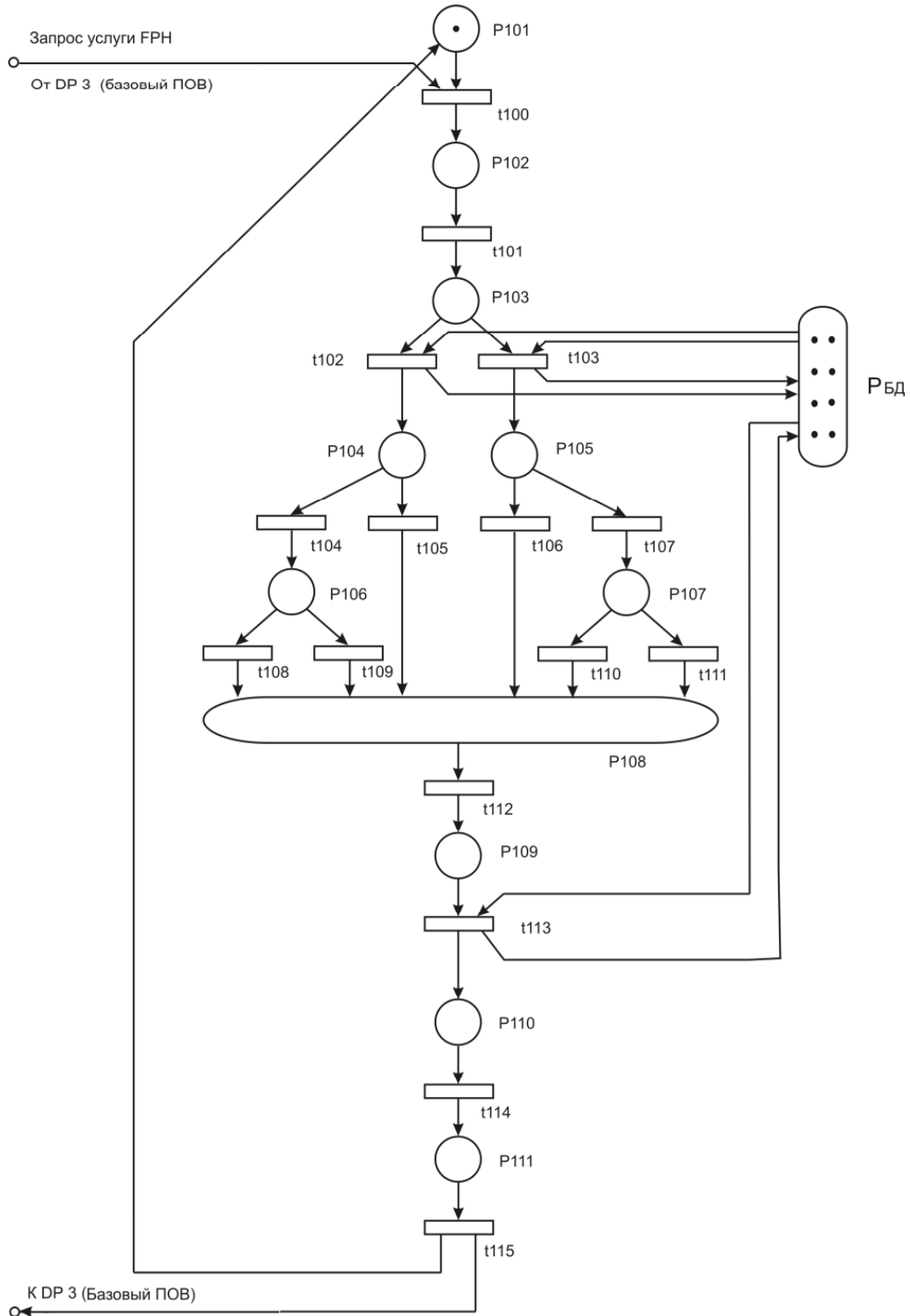


Рис. 6. Модель предоставления услуги «Бесплатный вызов»

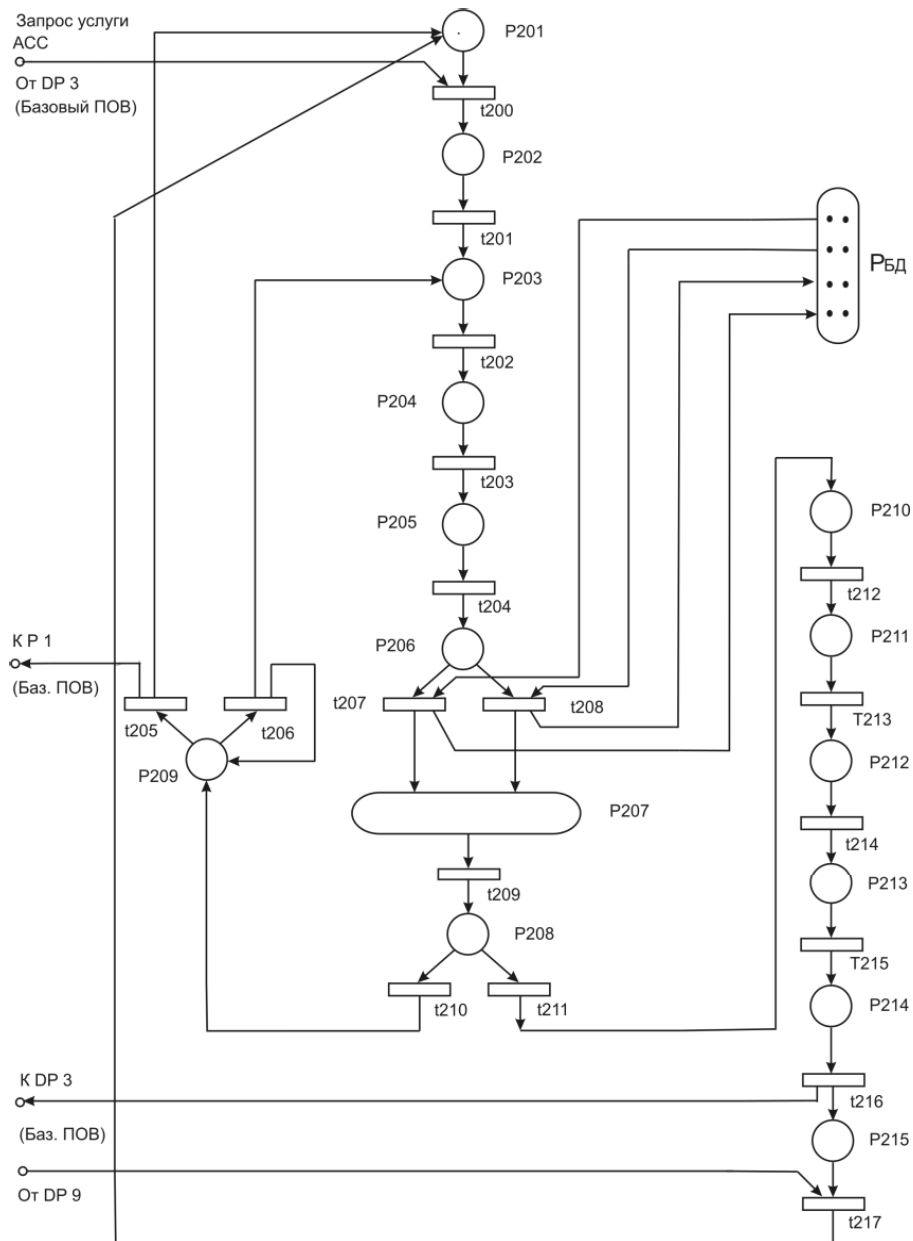


Рис. 7. Модель предоставления услуги «Вызов по карте»

Тогда средняя длительность обмена сообщениями будет равна:

$$M(t) = \sum_{j=1}^k P \cdot t_{j,окс}$$

где  $P_{j,окс}$  – вероятность выбора альтернативных путей при срабатывании СП,

$t_{j,окс}$  – время задержки на переходе.

Тогда в прямом направлении  $Y = \lambda_{ACC} \cdot M(t)$ ,  $Y_{окс} = 4,16 \cdot 0,0616 = 0,256 \text{ Эпл.}$ , в обратном направлении

$$Y_{окс} = 4,16 \cdot 0,1428 = 0,594 \text{ Эпл.}$$

Данный подход дает возможность также оценить объем сигнального оборудования сети ОКС.



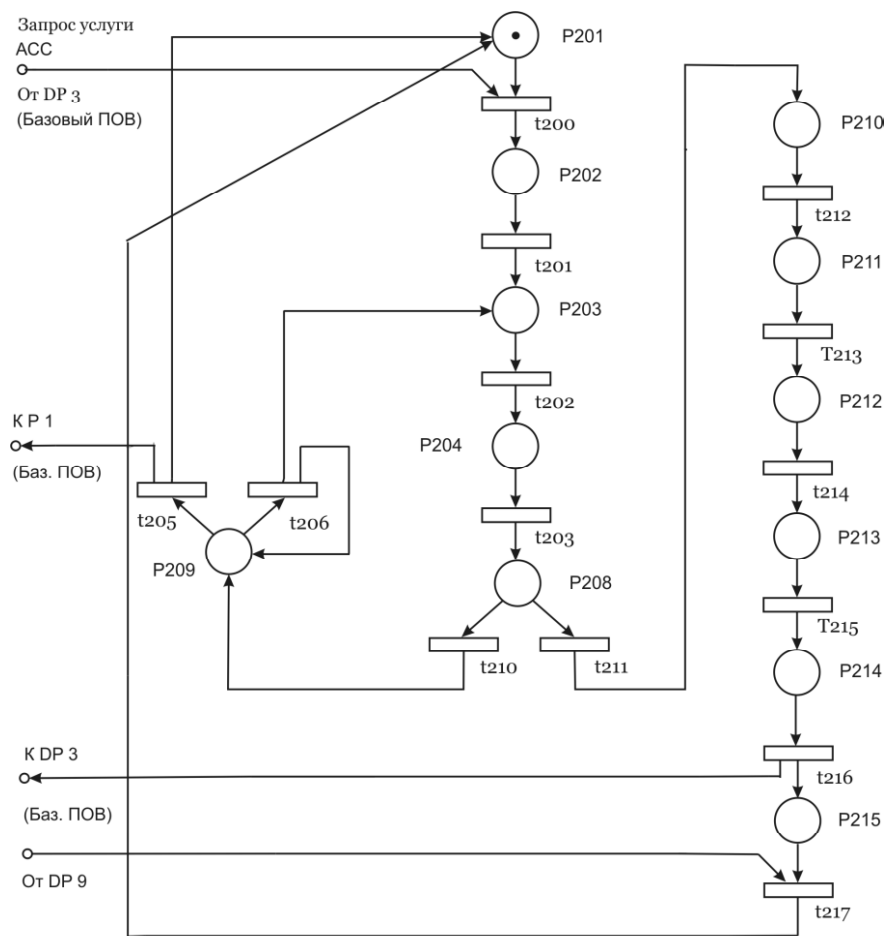


Рис. 8. Преобразованная сеть Петри

**Заключение.** Таким образом, подробные статистические исследования системы обслуживания заказов оператора связи могут быть получены с использованием платформы моделирования сетей Петри CPN Tools. При помощи языка CPN ML можно создавать собственные функции для более точного описания поведения моделей. Сочетание графического представления СП и системы программирования CPN ML обеспечивает проведение исследования поведения модели, получение основных показателей качества обработки запросов на обслуживание: математическое ожидание и моменты времени обслуживания, наиболее вероятное число одновременно обслуживаемых запросов, статистические характеристики очередей.

**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 методика построения распределенной системы управления телекоммуникационными сетями на основе технологии CORBA // Вестник СевКавГТУ, №6(45). Ставрополь: СевКавГТУ, 2014. 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 postroeniya raspredelennoy sistemy upravleniya telekommunikatsionnymi setyami na osnove tekhnologii CORBA // Vestnik SevKavGTU, №6(45). Stavropol': SevKavGTU, 2014. S. 50-57.
3. Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu. Algoritm suboptimal'nogo raspredeleniya programmnykh 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-tekhnicheskiy 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-tekhnicheskiy zhurnal «Teoriya i tekhnika radiosvyazi». Voronezh: Izd-vo OAO Kontsern «Sozvezdie», 2014. № 3. S. 19-26.
7. Mochalov V. P., Yambulatoev 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

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

**Mochalov Valeriy Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, SI NCFU, Stavropol, Russia

**Яковлев Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инфокоммуникаций, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», институт информационных технологий и телекоммуникаций, кафедра инфокоммуникаций, +79283100210, (8652) 95-69-97, Yak0vlevSV@yandex.ru

**Yakovlev Sergey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Associate Professor, SI NCFU, Stavropol, Russia, +79283100210, (8652) 95-69-97, Yak0vlevSV@yandex.ru

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

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

Дата поступления в редакцию: 1 апреля 2019 г.

После доработки: 21 мая 2019 г.

Дата принятия к публикации: 12 июня 2019 г.