

Алгоритм 1 не предусматривает поиск нескольких БС, тем не менее для возможности сравнения с ним в случае 2 сделано следующее допущение: пеленг, вычисленный с использованием алгоритма 1, присваивался всем БС, найденным блоком первичной синхронизации.

Отметим, что, хотя в работе был рассмотрен алгоритм 1, его использование на практике не представляет интереса, так как он не позволяет идентифицировать БС.

Заключение. Анализ представленных в табл. 5 данных позволяет сделать ряд выводов:

- увеличение значения $\Delta\alpha$ приводит к увеличению P_L для всех алгоритмов;
- результаты всех алгоритмов при переходе от случая 1 к случаю 2 ухудшаются. Это обусловлено возрастанием мощности структурной помехи при рассмотрении менее мощных по отношению к первой БС;
- алгоритм 3 всегда показывает лучшие результаты, чем алгоритм 2. По-видимому, это объясняется лучшим решением по времени КФ ООС по отношению к КФ ПСС и, следовательно, меньшим вкладом отраженных лучей в значение пика КФ ООС;
- в случае 1 алгоритм 1 показывает результаты лучше, чем алгоритмы 2 и 3. Возможно, это обусловлено учетом значительно большей энергии сигнала при реализации алгоритма 1. В самом деле, при реализации алгоритма 1 учитывается сигнал всех кадров в полосе 1,08 МГц, при реализации алгоритма 2 — энергия только одного ПСС за один кадр, а при реализации алгоритма 3 — энергия 20 ООС за один кадр;
- в обоих случаях алгоритм 4 показывает заметно лучшие результаты, чем все остальные алгоритмы.

Данная работа выполнена при поддержке Правительства Санкт-Петербурга за счет субсидии молодым ученым, молодым кандидатам наук вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Yo-Han Ko, Chang-Hwan Park, Yong Soo Cho.** Joint Methods of Cell Searching and DoA Estimation for a Mobile Relay Station with Multiple Antennas //IEEE GLOBECOM 2008, pp. 1–4, 2008.
2. **Rothna Pec, Yong Soo Cho.** A Parameter Estimation Technique for an LTE-based Mobile Relay Station with Antenna Array //ICT Convergence (ICTC), 2013 International Conference on, pp. 134–135, 2013.
3. **Yo Han Ko, Yeung Jun Kim, Hyun Il Yoo, Won Young Yang, Yong Soo Cho.** 2-D DoA Estimation with Cell Searching for a Mobile Relay Station with Uniform Circular Array //IEEE Transaction on Communications, V. 58, issue 10, pp. 2805–2809, October 2010.
4. 3GPP TS 36.104 V11.8.2. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 11) //3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., April, 2014.
5. 3GPP TS 36.101 V11.8.0. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 11) //3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep., March, 2014.
6. **Zhizhang Chen, Gopal Gokeda, Yiqiang Yu.** Introduction to Direction-of-Arrival Estimation.— Artech House Publishers, 2010.

Получено 09.06.14

УДК 621.391

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛЬНОГО ТРАФИКА В СЕТИ СВЯЗИ НА БАЗЕ ПОДСИСТЕМЫ IMS

А. А. Гамиль, аспирант СПбГУТ им. М. А. Бонч-Бруевича; obad-85a@mail.ru

Н. А. Куликов, аспирант СПбГУТ им. М. А. Бонч-Бруевича; менеджер проектов ООО «НТЦ Протей»; kulikov@protei.ru

Развитие систем связи последних десятилетий привело к появлению архитектуры IMS. Одной из наиболее важных ее задач является поддержка качества услуг, в первую очередь минимизация задержек доступа к услугам. Однако пока данный вопрос изучен недостаточно хорошо. Предлагается математическая модель оценки качества услуг, предоставляемых сетью IMS.

Ключевые слова: IMS, NGN, ТфОП, качество обслуживания, СеМО, вариация задержки.

Введение. Появление концепции IMS (IP Multimedia Subsystem) как решения для построения мультисервисных сетей привело к эволюционному переходу сети связи общего пользования к пакетизации. Изначально технология IMS разрабатывалась консорциумом 3GPP для сетей мобильной связи 3G, затем была предложена и для фиксированных сетей связи следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Для установления сессий, управления ими и их разделения в подсистеме IMS используется протокол сигнализации (Session Initiation Protocol, SIP), а при выполнении процессов авторизации, аутентификации и учета — прото-

кол Diameter [1]. Эти сигнальные трафики характеризуют параметры качества обслуживания (Quality of Service, QoS), поэтому остановимся на характеристиках QoS, регламентируемых рекомендациями МСЭ-Т.

В табл. 1 приведены нормированные значения показателей качества предоставления услуги в IP-сетях: средняя задержка пакетов (IP Packet Time Delay, IPTD) и вариация задержки пакетов (джиттер) (IP Packet Delay Variation, IPDV) — в зависимости от класса QoS [2]. Наиболее жесткие требования к параметрам прописаны для нулевого

Таблица 1. Показатели качества предоставления услуги в IP-сетях

Показатель качества	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
IPTD, мс	100	400	100	400	1000	Н/д
IPDV, мс	50	50	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д

класса обслуживания, используемого обычно для передачи речи в реальном времени. Качество передачи сигнальных сообщений из конца в конец в IMS можно отнести к первым классам QoS. Таким образом, сети NGN, построенные на базе IMS, создаются с учетом требований к обеспечению гарантированного уровня QoS, т.е. планируются так, чтобы, согласно МСЭ-Т [3], задержка по сети сигнализации не превышала 100 мс.

В табл. 2 представлены требования 3GPP (3rd Generation Partnership Project) к задержкам и потерям для разных видов трафика [4], передаваемого с разными приоритетами в системах современной мобильной связи при внедрении пакетной мультимедийной подсистемы IMS. Приоритетным является трафик управления соединениями — трафик сигнализации, далее следует трафик передачи речи и затем трафик игр в реальном времени.

Таблица 2. Требования 3GPP к показателям качества предоставления услуги в IP-сетях

Приоритет	Задержка, мс	Потери	Приложение
1	100	10 ⁻⁶	Сигнализация IMS
2	100	10 ⁻²	VoIP
3	50	10 ⁻³	Игры в реальном времени

Важно отметить, что при управлении сеансами связи функциональные узлы IMS обмениваются сигнальными сообщениями и создают сигнальный трафик, который должен обслуживаться с заданными параметрами качества: они могут определяться требованиями стандартов, а также соглашениями об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA). В статье рассматриваются функциональные узлы подсистемы IMS, применяемые как в мобильных, так и в фиксированных сетях, поэтому их специфика не сказывается на общности представленных ниже результатов.

Функциональные элементы IMS. Основными функциональными элементами IMS (рис. 1), взаимодействующими при предоставлении абонентам услуг, связанных с основными сигнальными процедурами протоколов SIP и Diameter

в IMS [5], являются функция управления сеансами связи и маршрутизацией (Call Session Control Function, CSCF) и сервер домашних абонентов (Home Subscriber Server, HSS). Узлы CSCF обмениваются между собой сообщениями протокола SIP, а для обращения к серверу HSS используется протокол Diameter.

Функциональность CSCF включает три составные части:

1) функцию обслуживания S-CSCF (Serving CSCF), предназначенную для управления сессиями пользователя, обрабатывающую все SIP-сообщения, которыми обмениваются оконечные устройства, а также взаимодействующую с системой учета данных для начисления платы и с другим оборудованием;

2) функцию запроса I-CSCF (Interrogating CSCF), реализующую взаимодействие абонентов с внешними сетями, выбирающую соответствующий сервер приложений и обеспечивающую доступ к нему, а в некоторых случаях позволяющую скрыть топологию сети оператора от других сетей;

3) функцию прокси-сервера P-CSCF (Proxy CSCF), которая обеспечивает взаимодействие с абонентскими терминалами IMS, а также может выполнять аутентификацию абонента, формирование учетной записи, управление качеством обслуживания и взаимодействие с другим оборудованием.

HSS, база пользовательских данных, поддерживает доступ к индивидуальным данным пользователя, связанным с услугами.

Другим важным элементом IMS является сервер присутствия (Presence Server, PS) — он содержит статус присутствия каждого абонента и список «наблюдателей», заинтересованных в этой информации. Терминальное оборудование (User Equipment, UE) IMS соединяется посредством узлов P-CSCF сетей, в которых они на данный момент находятся, и через эти функции взаимодействуют с другими узлами IMS.

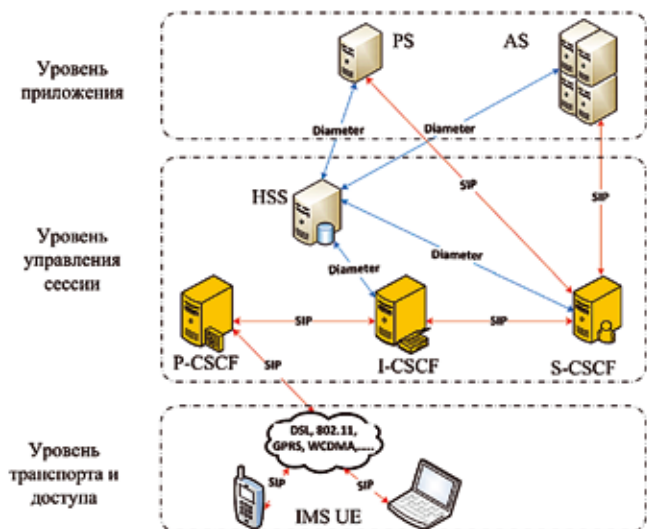


Рис. 1. Функциональные элементы подсистемы IMS

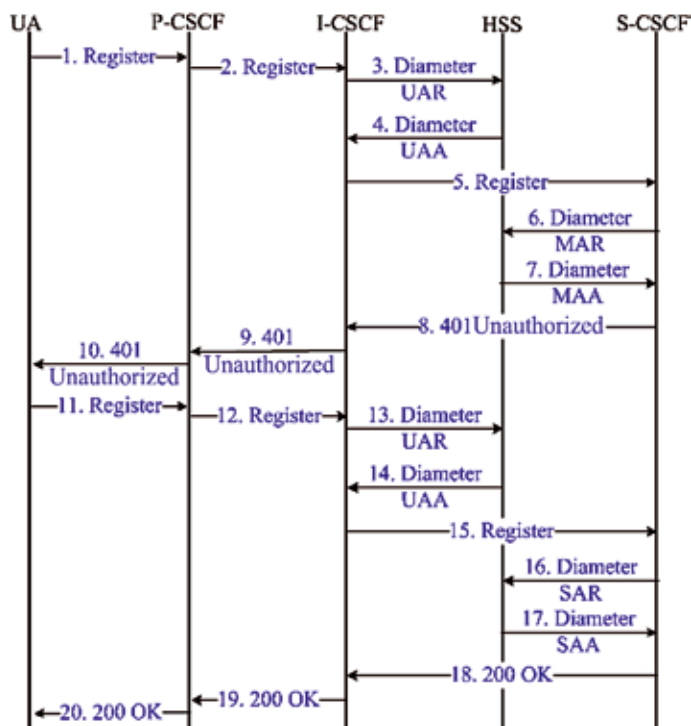


Рис. 2. Процедура регистрации в IMS

Следует отметить, что для подсистемы IMS (см. рис. 1) определена только функциональная архитектура, а физическая реализация данных функций зависит от решения конкретного производителя [6].

Постановка задачи. Анализируя вероятностно-временные характеристики (ВВХ) сети связи на базе подсистемы IMS, следует оценить время задержки сигнального трафика при регистрации пользователя в сети — это весьма важный параметр качества обслуживания. Регистрация является обязательной процедурой при работе в сети IMS, незарегистрированным пользователям требуется аутентификация для доступа к услугам IMS. Процесс регистрации (рис. 2) начинается с того, что терминальное оборудование абонента передает на P-CSCF всю информацию, необходимую для регистрации пользователя, и заканчивается моментом, когда это оборудование получает сигнал о подтверждении успешной регистрации и аутентификации.

Анализ задержки сигнального трафика при регистрации пользователя в IMS. Анализ задержки сигнального обмена начинается с передачи оборудованием пользователя запроса протокола SIP «Register» и завершается подтверждением успешной регистрации — ответом «200 OK». Задержка сигнального обмена в IMS при регистрации состоит из трех элементов:

$$\bar{D} = \bar{D}_t + \bar{D}_p + \bar{D}_q,$$

где \bar{D} — среднее значение суммарной задержки IMS-сигнализации; \bar{D}_t — средняя задержка передачи; \bar{D}_p — средняя задержка обработки; \bar{D}_q — средняя задержка ожидания в очереди.

Задержка передачи — время, затраченное на трансляцию сигнального сообщения на транспортном уровне и по сети доступа. Оно зависит от размера сообщения, пропускной способности канала, расстояния между узлами сети и характеристик канала. Можно предположить, что задержка передачи между узлами ядра IMS незначительна из-за высокой пропускной способности. Для задержки передачи на уровне сети доступа это, как правило, не так. Во время процедуры регистрации передача сигнальных сообщений по сети доступа происходит четыре раза между UA и сервером P-CSCF, расположенным в ядре сети IMS (сообщения 1, 10, 11 и 20 на рис. 2). Задержка передачи сообщений $\bar{D}_{t-imsreg}$ составляет $\bar{D}_{t-imsreg} = 4 \times \bar{D}_{t-an}$.

Задержка обработки — время, необходимое для анализа сигнального сообщения, его обработки и формирования следующего запроса либо ответа. Основная длительность в задержке обработки вызвана поиском адреса в базе данных HSS, где хранятся записи пользователей на основе IP-адресов в адресных таблицах.

Запишем задержку обработки при регистрации пользователя $\bar{D}_{p-imsreg}$ как

$$\begin{aligned} \bar{D}_{p-imsreg} = & 2d_{p-ua} + 4d_{p-pcscf} + \\ & + 6d_{p-iscsf} + 4d_{p-hss} + 4d_{p-scscf}, \end{aligned}$$

где d_{p-ua} , $d_{p-pcscf}$, $d_{p-iscsf}$, d_{p-hss} , $d_{p-scscf}$ — задержки обработки пакетов на узлах UA, P-CSCF, I-CSCF, HSS и S-CSCF соответственно, а целые коэффициенты — число сигнальных сообщений, обработанных в соответствующих узлах сигнализации при регистрации (см. рис. 2). Таким обра-

зом, задержка обработки в узле моделируется путем подсчета количества сообщений, полученных узлом.

Задержка очереди — задержка ожидания обслуживания в узлах сети. Анализ задержки очереди включает в себя все узлы сети, участвующие в процедурах сигнального обмена в IMS. Общая задержка пакетов в очереди, являющаяся суммированием задержки во всех узлах сети массового обслуживания (СеМО), зависит от числа пакетов в очереди в данный момент времени на этом узле.

В рамках предлагаемой математической модели предположим, что поступающий поток заявок пуассоновский, обслуживание в узлах сети экспоненциальное и выполняется условие равновесного режима функционирования сети. Таким образом построим модель сигнального трафика для процедуры перерегистрации в виде ВСМР-сети [7, 8], которая представляет собой открытую неоднородную СеМО с несколькими классами заявок и дисциплинами обслуживания M/M/1 во всех узлах сети. (ВСМР — аббревиатура, образованная по начальным буквам фамилий авторов предложенного метода анализа подобных СеМО: Baskett, Chady, Muntz и Palacios.)

Метод ВСМР позволяет получить уравнения равновесия (глобального баланса) для сетей, обслуживающих заявки разных классов. При этом сеть включает в себя узлы нескольких типов, различающихся количеством обслуживаемых приборов $M = \{1, \dots, M\}$, между которыми циркулируют заявки из конечного множества различных классов $R = \{1, \dots, R\}$. Анализ ВВХ можно продолжить на основании теоремы ВСМР [7].

Из внешней среды в сеть поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ_i , $i \in M$. Заявки в сети моделируют сообщения, поступающие на узлы IMS. Каждой заявке присвоен класс, который можно менять при ее переходе из одного узла в другой таким образом, что сообщение класса $r \in R$ может стать сообщением класса $s \in R$. Классы ВСМР-заявок, используемых при построении модели перерегистрации, выглядят следующим образом: Register — (1), UAR — (2), UAA — (3), SAR — (4), SAA — (5), 200 OK — (6). На рис. 3 изображена сеть ВСМР для процедуры перерегистрации пользователя в IMS.

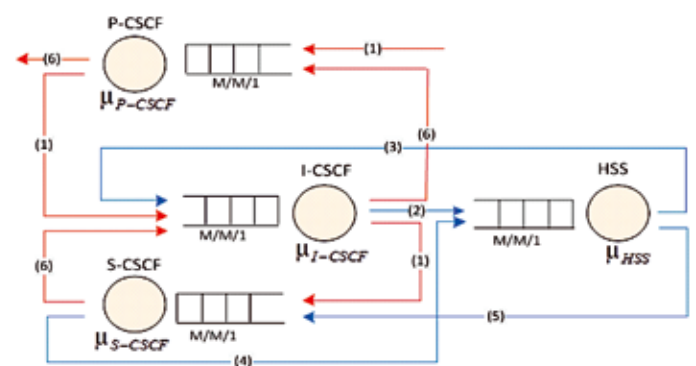


Рис. 3. Модель процедуры перерегистрации

Таким образом, задержка очереди в узлах сети при перерегистрации $\bar{D}_{q-imsreg}$ [9]:

$$\bar{D}_{q-imsreg} = 4d_{q-pcscf} + 6d_{q-iscsf} + 4d_{q-hss} + 4d_{q-scscf},$$

где $d_{q-pcscf}$, $d_{q-iscsf}$, d_{q-hss} , $d_{q-scscf}$ — задержки пакетов в очереди на узлах P-CSCF, I-CSCF, HSS и S-CSCF соответственно.

Каждой заявке, поступающей в систему, соответствует маршрут, который отслеживает путь ее следования между узлами с учетом изменения класса. Данный путь описывается квазистохастической маршрутной матрицей:

$$\Theta' = (\theta_{ir,js}); \quad i, j \in M; \quad r, s \in R,$$

где $\theta_{ir,js}$ — вероятность того, что после окончания обслуживания (i, r) -я заявка может стать (j, s) -й заявкой.

Если обозначим λ_{ir} — интенсивность поступающего потока заявок на узел i класса r , уравнение равновесия для интенсивности потоков в узлах сети будет иметь вид

$$\lambda_{ir} = \sum_{(j,s) \in \Omega} \lambda_{js} \theta_{js,ir}; \quad i, r \in \Omega, \quad (1)$$

где Ω — множество всех допустимых заявок, обслуживаемых в сети.

Средняя задержка пакетов в очереди на i -м узле IMS равна [10]:

$$d_i = \frac{\rho_i}{\mu_i (1 - \rho_i)}, \quad (2)$$

где $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ — интенсивность нагрузки в i -й узел IMS; μ_i — интенсивность обслуживания в узле i ; λ_i — интенсивность поступающего потока заявок в i -м узле. Интенсивность поступления заявок в i -й узел λ_i рассчитывается исходя из системы линейных уравнений, составленных на основании формулы (1).

Таким образом, общая задержка при регистрации в IMS:

$$\bar{D}_{imsreg} = \bar{D}_{t-imsreg} + \bar{D}_{p-imsreg} + \bar{D}_{q-imsreg}. \quad (3)$$

Важно отметить, что, если пользователь не зарегистрирован в сети IMS, он должен пройти процесс регистрации в сети до установления сеанса связи.

Медиатор плана нумерации. В процессе модернизации существующих телефонных сетей при переходе к архитектуре IMS могут быть реализованы оригинальные схемы включения оборудования. Для модернизации городских АТС координатного типа и перевода аналогового сегмента сети в IP-сегмент возможна замена части аналогового оборудования АТСК(У) комплексом, получившим название «Медиатор плана нумерации» (МПН) [11]. По техническим возможностям и принципу подключения к ядру IMS-сети МПН соответствует цифровому выносному модулю (MSAN) большой емкости (рис. 4).

Каждую реконструированную координатную АТС можно рассматривать как совокупность двух основных элементов. Первый элемент — абонентская ступень, в нее включены абонентские линии без каких-либо изменений в эксплу-

тируемой сети доступа. Второй элемент — МПН, выполняющий все функции групповой ступени, а также формирующий на выходе АТС стандартные тракты Gigabit Ethernet. Они включаются в IMS-ядро. Обмен сигналами управления и взаимодействия происходит по протоколу SIP.

Медиатор плана нумерации обеспечивает преобразование речевой информации, поступающей со стороны оборудования аналоговых АТС, в вид, пригодный для передачи по IP-сетям: осуществляет кодирование информации, упаковку речевой информации в пакеты RTP/IP, а также обратное преобразование. МПН обрабатывает и преобразует сообщения систем сигнализаций, использующих технологию коммутации каналов, в сообщения систем сигнализаций на базе технологии коммутации пакетов информации, поддерживает разные планы нумерации и обеспечивает применение аналоговых АТС при закрытом плане нумерации, изменяет адресную информацию.

Важной задачей МПН является регистрация обслуживаемых абонентов. При этом поток сигнальных сообщений REGISTER, создаваемый одним медиатором, может отличаться от простейшего. В частности, при первом включении МПН в сеть либо при восстановлении после вероятной аварии время между отправляемыми SIP-сообщениями, возможно, будет детерминировано, что позволяет расширить модель, предложенную в данной статье, и исследовать ее в следующих научных работах.

Заключение. В процессе анализа структуры ядра сети IMS и взаимодействия его узлов при регистрации абонента была разработана математическая модель IMS-ядра, основанная на открытой сети массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением длительности обслуживания в узлах. Полученные результаты позволяют рассчитать задержку, возникающую в ядре IMS-сети при регистрации абонентов. Предложенная модель может быть расширена для случаев оригинальных подключений абонентов при установке узлов большой емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яновский Г. Г. IP Multimedia Subsystem: принципы, стандарты и архитектура // Вестник связи.— 2006.— № 3 — С. 71–76.
2. ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP-based Services.— 2006.
3. ITU Rec. Q Suppl. 51: Signaling requirements for IP-QoS.— December, 2004.
4. 3GPP TS 23.203. V 10.6.0, Technical Specification.— March, 2012.
5. Abhayawardhana V. S., Babbage R. A traffic model for the IP Multimedia Subsystem (IMS) // IEEE Magazine.— 2007.— P. 783–787.
6. Самуйлов К. Е., Чукарин А. В., Сопин Э. С. Оценка характеристик сигнального трафика в сети связи на базе подсистемы IMS // T-Comm.— 2010.— № 7.— С. 8–13.
7. Вишневский В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей.— М.: Техносфера, 2003.
8. Baskett F., Chandy K., Muntz R., Palacios F. Open, Closed and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers // Journal of the ACM.— 1975.— Vol. 22.— No 2.— P. 248–260.
9. Самуйлов К. Е., Лузгачев М. В., Плаксина О. Н. Разработка вероятностной модели для анализа показателей качества протокола инициирования сеансов связи // Вестник Российского ун-та Дружбы народов. Сер. «Математика. Информатика. Физика».— 2007.— № 3–4.— С.53–63.
10. Соколов Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. — Протей, 2012.
11. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А. Об одном пути реконструкции ГТС // Вестник связи.— 2011.— № 4.

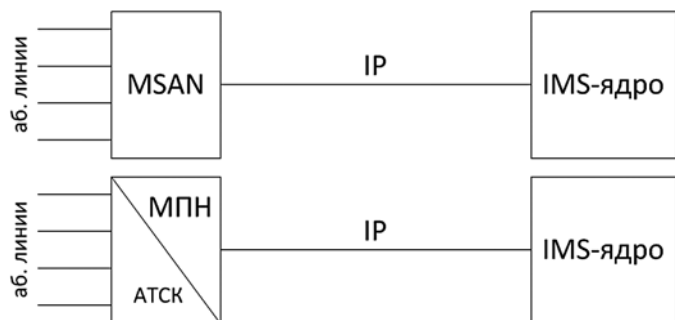


Рис. 4. Медиатор плана нумерации