

34. Mazzares D. Vybor opticheskogo volokna dlya tsentrov obrabotki dannykh [Selection of optical fiber for data centers] *Tekhnologii i sredstva svyazi*, 2009, no. 4, pp. 30-32.
35. Becker M. et al. Fiber Bragg Grating Inscription with UV Femtosecond Exposure and Two Beam Interference for Fiber Laser Applications. *Proc. of SPIE*, 2010, vol. 7750, 775015.
36. Meltz G., Morey W.W., Glenn W.H. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. *Opt. Lett.*, 1989, vol. 14, no. 15, pp. 823-825.
37. Varzhel' S.V. et al. Zapis' uzkopolosnykh volokonnykh breggovskikh otrazhateley odinochnym impul'som eksimernogo lazera metodom fazovoy maski [Recording narrowband fiber Bragg reflectors by a single pulse excimer laser by the method phase mask]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik SPbGU ITMO*, 2011, vol. 75, no. 5, pp. 27-30.
38. Lai Y., Zhou K., Sugden K., Bennon I. Point-by-point inscription of sub-micrometer period fiber Bragg gratings. *OSA/CLEO/QELS*, 2008, paper CTuU2.
39. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrvkov D.V. *Opticheskie volokna dlya liniy svyazi* [Optical fiber for communication lines]. Moscow, LESARart Publ, 2003. 288 p.
40. Semenov A.B. *Volokonno-opticheskie podsystemy sovremennykh SKS* [Fiber-optic subsystem of modern SCS]. Moscow, Akademiya AyTi, DMK Press, 2007. 632 p.
41. Irujo T. *OM4 fiber – the next generation of multimode fiber*. FOLS Webconference materials, 2010. Accessed at: http://www.fols.org/fols_library/archived_webconferences/index.cfm (accessed 17.01.16)
42. TIA-492-AAAD. Detail specification for 850 nm laser-optimized, 50 μm core diameter / 125 μm cladding diameter class Ia graded-index multimode optical fibers of OM4 performance. 2009.
43. Bois Sh. Bend-insensitive multimode fiber improve enterprise networks. *Lightwave*, 2009, no. 4, pp. 7-9.
44. Bourdine A.V. Differentsial'naya modovaya zaderzhka kvartsevykh mnogomodovykh opticheskikh volokon raznykh pokoleniy [Differential mode delay of quartz multimode optical fibers of different generations]. *Foton-Ekspress*, 2008, no. 5-6, pp. 20-22.
45. Bourdine A.V. O diagnostike differentsial'noy modovoy zaderzhki mnogomodovykh opticheskikh volokon [About multimode optical fiber differential mode delay diagnostics]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2008, no. 4, pp. 33-38.
46. Bourdine A.V., Prokopyev V.I., Dmitriev E.V., Yablochkin K.A. Results of conventional field-test equipment application for identification of multimode optical fibers with high DMD. *Proceedings of SPIE*, 2009, vol. 7374., pp. 73740J-01 – 73740J-07.
47. Bourdine A.V., Yablochkin K.A. Issledovanie defektov profilya pokazatelya prelomleniya mnogomodovykh opticheskikh volokon kabeley svyazi [Investigations of refractive index profile defects of silica graded-index multimode fibers of telecommunication cables]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2010, no. 2, pp. 22 – 27.
48. Bourdine A.V., Praporshchikov D.E., Yablochkin K.A. Investigation of defects of refractive index profile of silica graded-index multimode fibers. *Proceedings of SPIE*, 2011, vol. 7992, pp. 799206-1 – 799206-6.

Received 18.01.2016

УДК 654.16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ОБЪЕМА РЕСУРСА ТЕЛЕФОННОЙ НУМЕРАЦИИ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ПЕРСПЕКТИВУ

Росляков А.В.¹, Назметдинов Д.Е.², Кабаева К.А.¹

¹ *Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

² *ПАО «МегаФон», Самара, РФ*

E-mail: aros1@mail.ru

На основе анализа существующей нормативной базы, определяющей порядок распределения и использования ресурсов нумерации единой сети электросвязи Российской Федерации, предложена временная модель закупки и использования ресурса телефонной нумерации оператором сети мобильной связи. Данная модель использована для определения объема необходимого ресурса нумерации на перспективу. Приведен пример прогноза необходимого ресурса телефонной нумерации в ПАО «МегаФон» на период 2015–2017 гг. Прогноз выполнен методом экстраполяции логарифмической функции аппроксимации статистических данных о количестве абонентов в сети ПАО «МегаФон» в 2009-2014 гг.

Ключевые слова: ресурс нумерации, сети мобильной связи, порядок распределения и использования ресурсов нумерации, ПАО «МегаФон».

Введение

Одним из ресурсов любых сетей связи является ресурс нумерации, под которым понимается совокупность или часть вариантов нумерации, которые возможно использовать в сетях связи [1]. В свою очередь под нумерацией, согласно Федеральному закону «О связи», понимается «цифровое, буквенное, символьное обозначение или комбинации таких обозначений, в том числе коды, предназначенные для однозначного определения (идентификации) сети связи и (или) ее узловых или оконечных элементов» [2].

Ресурс нумерации сетей связи является всегда ограниченным, поэтому операторам связи необходимо использовать его оптимально. В сетях мобильной связи, в отличие от фиксированных телефонных сетей, имеется своя специфика использования ресурса телефонной нумерации. В таких сетях существует большой отток абонентов, что накладывает свой отпечаток на процесс распределения и использования выделенных номеров. Кроме того, в сетях мобильной связи практикуется блокировка номера в случае его неиспользования абонентом в течение определенного периода времени и дальнейшее его повторное использование для другого абонента.

В статье предлагается метод определения необходимого ресурса телефонной нумерации в сетях мобильной связи, основанный на временной модели закупок и использования ресурса нумерации и учитывающий существующую в России нормативную базу.

Нормативная база использования номерной емкости в сетях связи

Нормативная база использования номерной емкости в отечественных сетях связи определяется постановлениями Правительства Российской Федерации №350 [3] и №429 [4]. В Постановлении №350 содержатся правила, разработанные в соответствии с законодательством Российской Федерации в области связи, которые определяют порядок распределения и использования ресурсов нумерации единой сети электросвязи Российской Федерации. Постановление №429 содержит изменения в эти правила.

Присвоение ресурса нумерации осуществляется Федеральным агентством связи (Россвязь) в соответствии с установленным порядком в строго определенные сроки. В срок, не превышающий 50 дней со дня получения Россвязью заявления

и необходимых документов, оно направляет заявителю письменное извещение о принятом решении. Оформление решения о выделении ресурса нумерации, его вручение заявителю или направление по почте в адрес заявителя производится в течение 10 дней со дня представления копии платежного документа, подтверждающего уплату государственной пошлины за выделение ресурса нумерации.

Оператор связи, получивший ресурс нумерации, обязан использовать данный ресурс полностью или частично в течение двух лет с даты выделения ресурса нумерации. Выделенный ресурс нумерации считается использованным: а) полностью, если он использован оператором связи в целях оказания услуг связи не менее чем на 85 процентов; б) частично, если он использован оператором связи в целях оказания услуг связи не менее чем на 75 процентов [4]. В противном случае он может быть изъят установленным порядком.

Распределение нумерации из выделенного ресурса осуществляется оператором связи самостоятельно и упорядоченно, то есть осуществляется последовательное задействование полного диапазона номеров в выделенном ресурсе нумерации.

Специфика использования ресурса нумерации в сетях мобильной связи

В фиксированных телефонных сетях с каждым абонентским номером, как правило, логически связана некая аппаратная схема автоматической телефонной станции (АТС), называемая абонентским комплектом (АК) – см. рис. 1а. В электро-механических АТС привязка АК с определенным телефонным номером к отдельной абонентской линии осуществляется через соединение в абонентском кроссе. Исключение составляют так называемые серийные, или многоканальные, телефонные номера, которые не привязаны к конкретным телефонным линиям и используются для приема нескольких вызовов одновременно путем переадресации их на один из свободных на данный момент абонентов (например, телефонисток-операторов различных сервисных служб). В программно-управляемых АТС каждый АК имеет свой индивидуальный условный линейный номер [5], и в таких станциях нет жесткого закрепления абонентских (списочных) номеров за АК. Соответствие между конкретными линейными и

списочными номерами отображается в специальной базе данных абонентских характеристик АТС (иногда это соответствие называют «программным кроссом», так как имеется возможность программным способом изменить это соответствие) [6]. Емкость телефонной нумерации отдельных АТС и всей телефонной сети, связанная с уже подключенными абонентами, называется задей-

ствованной, а общая емкость нумерации, которая потенциально могла быть использована для подключения абонентов в имеющиеся (смонтированные) АК, – монтированной. Естественно, операторы телефонных сетей стремятся максимально приблизить задействованную емкость к монтированной для получения наибольшего дохода от сети.

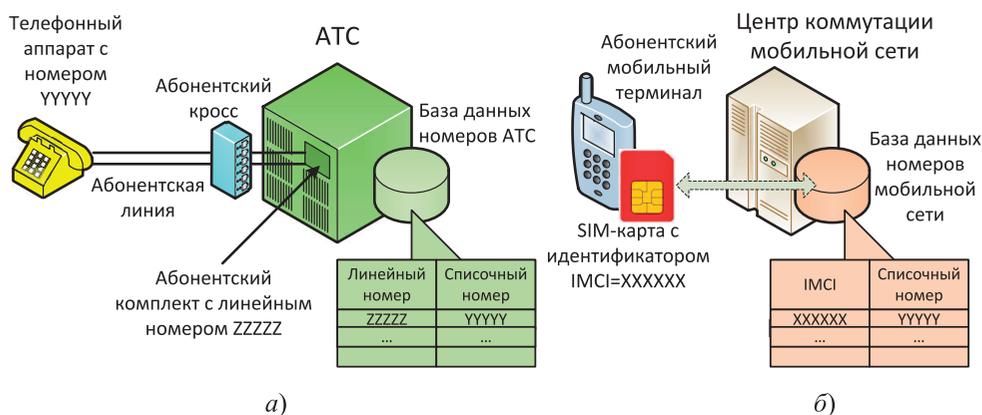


Рис. 1. Схемы закрепления телефонного номера за оборудованием: а) в АТС с программным управлением; б) в сети мобильной связи

В сетях мобильной связи привязка абонентских (списочных) номеров к мобильным телефонам иная. Каждый абонентский мобильный терминал (сотовый телефон или любой другой гаджет, поддерживающий мобильную телефонную связь) имеет специализированное аппаратно-программное устройство в виде небольшой платы, называемой модулем идентификации абонента SIM (Subscriber Identification Module), или SIM-картой (см. рис. 1б) [7]. Для пользования мобильной связью (кроме вызова экстренных служб по номеру 112, который осуществляется даже без SIM-карты) абонент должен заключить договор с оператором или провайдером, предоставляющим услуги мобильной связи, получить SIM-карту и вставить ее в свой абонентский терминал. В SIM-карте не прописывается в явном виде абонентский номер – он хранится в соответствующей базе данных, при помощи которой устанавливается взаимно-однозначное соответствие между ним и международным идентификатором мобильного абонента IMSI (International Mobile Subscriber Identity), записанным на карте.

Таким образом, после продажи SIM-карты назначается определенный абонентский номер из общего ресурса нумерации сети мобильной связи. При этом оператор сети должен уложиться в нормативные сроки использования закупленной номерной емкости и желательно не понести из-

лишние финансовые затраты при покупке завышенного объема нумерации. С другой стороны, закупка недостаточного количества номеров и невозможность продажи необходимого количества SIM-карт может привести к оттоку существующих или к не подключению потенциальных абонентов. Следовательно, для операторов сетей мобильной связи весьма актуальной является задача определения оптимального объема ресурса телефонной нумерации на перспективу.

Временная модель закупок и использования ресурса нумерации

После получения решения Россвязи о выделении ресурса нумерации оператор сети мобильной связи самостоятельно выделяет номера для абонентов и пользователей услугами связи, назначает идентификационные коды элементов сети, коды доступа к услугам мобильной связи из выделенного ему ресурса нумерации, и здесь же идет изготовление SIM-карт и прописка выделенного ресурса на сети. На все это тратится три месяца.

Далее начинается продажа телефонных номеров, которые связаны с SIM-картами. Однако кроме продаж существуют и оттоки, то есть заблокированные, выброшенные, сломанные и прочие карты, номера которых не находятся в использовании и по прошествии определенного времени

блокируются. Но заблокированный номер сразу повторно использовать оператор не имеет права. Необходимо выждать не менее шести месяцев [2], после чего номер снова пускают в продажу.

Таким образом, продажи с 4 месяца по 11 осуществляются без учета оттока, а после продажи осуществляются по схеме $X - Y$, где X – план продаж на один месяц, Y – план оттока за один месяц. По такому сценарию продажи осуществляются вплоть до конца второго года, по истечению которого долж-

но быть использовано не менее 75% номеров. Но следует учитывать, что оттоки за семь месяцев с 4 по 11 будут влиять на номерную емкость в следующем году. При расчете оптимальной емкости закупаемой нумерации и составлении планов продаж и оттока необходимо, чтобы оттоки за весь период использования ресурса нумерации не превысили допустимые значения в 25%. Временной график использования ресурса нумерации оператором сети мобильной связи приведен на рис. 2.

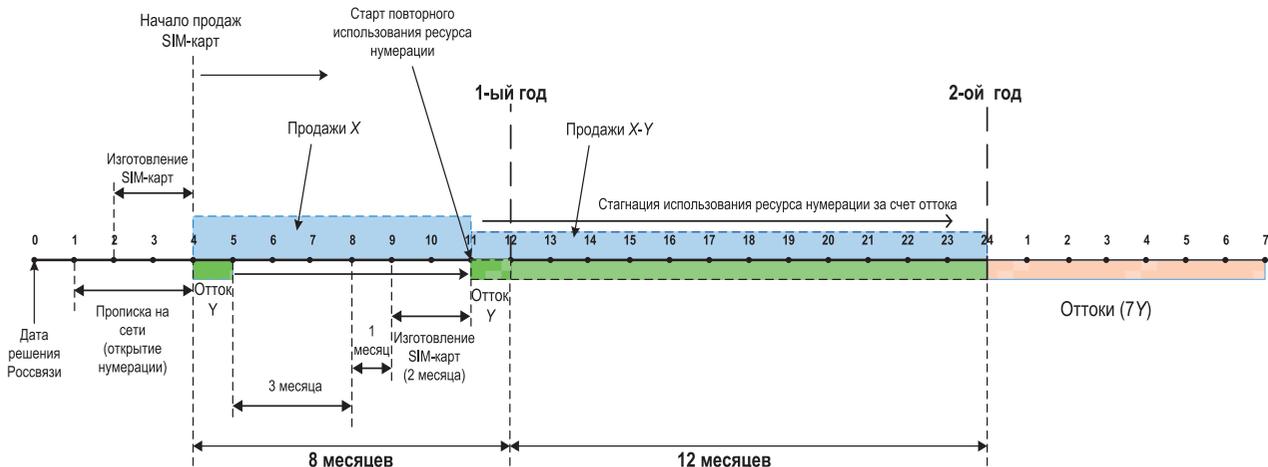


Рис. 2. Временной график использования ресурса нумерации оператором сети мобильной связи

Определение необходимого ресурса нумерации на расчетный период времени

С учетом описанной выше временной модели закупок и использования ресурса нумерации необходимый оператору сети мобильной связи объем нумерации на соответствующий период времени можно определить по формуле:

$$N = N_{\text{пр}} - N_{\text{от}} + N_{\text{рез}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{пр}} = X - T$ – план продаж нумерации на расчетный период времени T ; X – план продаж нумерации на один месяц; T – расчетный период времени реализации выделенного номерного ресурса за вычетом месяцев на получения решения Росвязи и изготовление SIM-карт, месяцы; $N_{\text{от}} = Y - (T - 7)$ – план оттока нумерации на расчетный период времени T ; Y – план оттока нумерации за один месяц; $N_{\text{рез}} = 7Y + 4(2X - Y)$ – остаток и резерв нумерации; $7Y$ – отток нумерации за семь месяцев, который не может быть использован в рамках двух лет; $4(2X - Y)$ – резерв ресурса нумерации на время изготовления SIM-карт и прописки за сети в случае непрогнозируемого роста продаж, но не более чем в два раза.

Пример расчета

На основе имеющихся официальных статистических данных о количестве абонентов в сети мобильной связи ПАО «МегаФон» за 2009-14 гг. [8] был выполнен прогноз числа абонентов на период 2015-17 гг. Статистические данные и результаты прогнозирования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Количество абонентов в сети ПАО «МегаФон» в 2009-17 гг.

Год	Количество абонентов в сети, млн.	Метод получения данных
2009	50	Официальная статистика
2010	57	
2011	61,6	
2012	62,6	
2013	68,1	
2014	70,234	Прогноз
2015	70,955	
2016	72,421	
2017	73,724	

Прогнозирование количества абонентов в сети ПАО «МегаФон» на период 2015-2017 гг. осуществлялось методом экстраполяции с использованием следующих функций:

- линейной: $y = ax + b$;
- показательной: $y = be^{ax}$;
- логарифмической: $y = a \ln x + b$.

Погрешность аппроксимации с использованием данных функций оценивалась с помощью метода наименьших квадратов. Оценка погрешности прогноза при разных функциях аппроксимации представлена в таблице 2.

Наименьшее суммарное среднеквадратическое отклонение от исходной функции имеет логарифмическая функция аппроксимации, поэтому она была использована для прогнозирования количества абонентов в сети ПАО «МегаФон» на период 2015-17 гг. – результаты которого также отражает таблица 1.

С учетом 75%-го использования ресурса нумерации и данных таблице 1 определен прогноз оптимального объема номерной емкости в сети ПАО «МегаФон» в 2014-17 гг. (см. таблицу 3).

Таблица 2. Погрешность аппроксимации статистических данных количества абонентов в сети ПАО «МегаФон»

Год	Погрешность при использовании функции аппроксимации:		
	Линейная	Показательная	Логарифмическая
2009	3,658	121,066	0,25
2010	1,481	65,060	0,0196
2011	3,787	60,187	0,0002
2012	0,854	128,505	4,757
2013	0,497	114,49	0,741
2014	1,063	189,723	0,955
Сумма	11,34	679,032	6,722

Таблица 3. Оптимальный объем нумерации в сети ПАО «МегаФон» в 2014-17 гг.

Год	Оптимальное количество номеров в сети, млн.
2014	87,79
2015	90,05
2016	93,24
2017	93,24

С учетом полученного прогноза были рассчитаны оптимальные планы продаж, оттоков и резервы ресурса нумерации в сети ПАО «МегаФон» на 2015-2017 годы.

Прирост абонентской базы за 2015 г. N_1^* определим по формуле:

$$N_1^* = 7X_1 + 5(X_1 - Y_1), \quad (2)$$

где X_1 – усредненный месячный план подключения новой нумерации для первого расчетного периода $T = 20$ месяцев, Y_1 – отток нумерации за один месяц.

Из (2) следует, что

$$X_1 = (N_1^* + 5Y_1)/12. \quad (3)$$

Из (1) с учетом того, что резерв нумерации за весь расчетный период не должен превышать 25% [3], получаем

$$N_{\text{рез}} = 7Y_1 + 4(2X_1 - Y_1) = 0,25N_1, \quad (4)$$

где N_1 – требуемый объем нумерации на период $T = 20$ месяцев, который можно определить по формуле

$$N_1 = 100\%(\Delta N_{2015} + 8\Delta N_{2016 \text{ ср}})/75\%, \quad (5)$$

где ΔN_{2015} – годовой прирост абонентов в 2015 году, $\Delta N_{2016 \text{ ср}}$ – среднемесячный прирост абонентов в 2016 году равный $\Delta N_{2016/12}$. Коэффициент 8 соответствует числу месяцев 2016 г., учитываемых в первом расчетном периоде T . После подстановки всех числовых значений получаем $N_1 = 2264271$. Подставляем значения, вычисленные по формулам (3) и (5), в (4) и получаем $Y_1 = (0,25N_1 - 8(N_1^* + 5Y_1))/12/3 = 13521$.

Значение Y_1 используется в течение пяти месяцев в 2015 г., поэтому среднемесячное значение относительно всего года будет равно $Y_1^* = 5Y_1/12 = 5634$.

Подставляем значение Y_1 в (3) и находим значение $X_1 = 65688$.

Аналогично рассчитывались значения X_2 , Y_2 , N_2 для второго расчетного периода T с учетом графика на рисунке 3. Результаты всех расчетов приведены в таблице 4.

Таким образом, в сети ПАО «МегаФон» требуется дважды произвести закупку нумерации в 2015 г. и 2016 г., а в 2017 г. этого делать не нужно, так как из-за существующего оттока освобождается необходимый ресурс нумерации для его повторного использования.

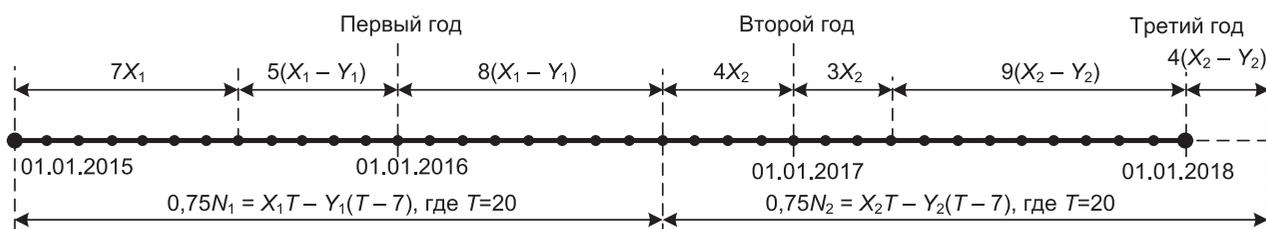


Рис. 3. Временной график использования ресурса нумерации в сети ПАО «МегаФон» на 2015-17 гг.

Таблица 4. Планы продаж, оттоки и резервы нумерации в сети ПАО «МегаФон» на 2015-17 гг.

Показатели	Год		
	2015	2016	2017
Требуемый объем нумерации на год	2264271	3185807	Не требуется
Используемый объем нумерации в год	720650	1466330	1303240
План по подключениям в месяц	65688	131208	262249
План по оттоку в месяц	5634	9014	153646
Среднемесячный прирост абонентской базы	60054	122194	108603

Заключение

Предложенный подход позволяет операторам сети мобильной связи на основе статистических данных о емкости абонентской базы за предыдущие годы и прогноза ее роста на планируемый период определить оптимальный объем закупок ресурса телефонной нумерации, что в итоге позволит оптимизировать финансовые затраты оператора.

Литература

1. Мардер Н.С. Нумерация в сетях электросвязи общего пользования Российской Федерации. М.: ИРИАС, 2004. – 232 с.
2. О связи // Собрание законодательства РФ. №28, 2003. Ст. 2895.
3. Об утверждении правил распределения и использования ресурсов нумерации единой сети электросвязи Российской Федерации // Постановление Правительства РФ №350 от 13.07.2004.
4. О внесении изменений в Правила распределения и использования ресурсов нумерации единой сети электросвязи Российской Федерации // Постановление Правительства Российской Федерации № 429 от 05.07.2007.
5. Цифровые системы коммутации для ГТС. Под ред. В.Г. Карташевского и А.В. Рослякова. М.: Эко-Трендз, 2008. – 352 с.
6. Цифровые АТС для сельской связи. Под ред. В.Г. Карташевского и А.В. Рослякова. М.: Эко-Трендз, 2003. – 285 с.
7. Берлин А.Н. Сотовые системы связи. М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2009. – 360 с.
8. Годовые отчеты ПАО «МегаФон» // http://corp.megafon.ru/investors/shareholder/year_report/ [дата обращения 12.11.2015].

Получено 02.12.2015

Росляков Александр Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой автоматической электросвязи (АЭС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-846-3336925; E-mail: arosl@mail.ru

Назметдинов Дмитрий Евгеньевич, руководитель по капитальному строительству Самарского филиала ПАО «МегаФон». Тел. 8-929-708-45-23. E-mail: dmitry.nazmetdinov@megafon.ru

Кабаева Ксения Алексеевна, магистрант Кафедры АЭС ПГУТИ. Тел. 8-846-3336925. E-mail: kabaeva.k.a@gmail.com

METHOD FOR EVALUATION OF PREDICTED AND REQUIRED QUALITY OF PHONE NUMBERS FOR MOBILE NETWORKS

Roslyakov A.V.¹, Nazmetdinov D.E.², Kabaeva K.A.¹

¹*Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, 23 L.Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation*

²*OJSC «MegaFon», Samara branch, 15 Moskovskoe shosse, Samara 443080, Russian Federation*
E-mail: arosl@mail.ru

We propose the time domain model for purchase and distribution of mobile network phone number resource for mobile operator by taking into account phone number distribution order ratified by Russian Federation. Proposed model was utilized for prediction of “Megafon” resources up to 2015 – 2017 years. We used extrapolation for statistical data on subscriber number been registered over 2009 – 2014 years old.

Keywords: number pool, mobile telecommunication network, order of numeration.

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.1.04

Roslyakov Alexander Vladimirovich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Head of the Department of Automatic Telecommunication; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +78463336925. E-mail: arosl@mail.ru.

Nazmetdinov Dmitry Evgenievich, OJSC «MegaFon», Samara branch, 15 Moskovskoe shosse, Samara 443080, Russian Federation; Head of Capital Construction. Tel. +79297084523. E-mail: dmitry.nazmetdinov@megafon.ru

Kabaeva Kseniy Alekseevna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Master Student of the De-partment of Automatic Telecommunication. Tel. +78463336925. E-mail: kabaeva.k.a@gmail.com

References

1. Marder N. S. *Nymeraciya v setyah elektrrosvyazi obshchego polzovanya Rossiiskoi Federacii* [Numbering in public telecommunication networks of the Russian Federation]. Moscow, IRIAS Publ., 2004. 232 p.
2. RF Federal Law “About telecommunications” of July 18, 2003 no. 126-FZ. (In Russian).
3. RF Government Resolution “On approval of rules for the allocation and use of numbering resources unified telecommunications network of the Russian Federation” of July 13, 2004 no. 350. (In Russian).
4. RF Government Resolution “On amendments to the Rules of allocation and use of numbering resources unified telecommunications network of the Russian Federation” of July 05, 2007 no. 429. (In Russian).
5. Kartashevskiy V.G., Roslyakov A.V. *Cifrovie sistemi kommytatsii dlya GTS* [Digital switching systems for GTS]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2008. 352 p.
6. Kartashevskiy V.G., Roslyakov A.V. *Cifrovie ATS dlya selskoi svyazi* [Digital ATS for rural communication]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2003. 285 p.
7. Berlin A.N. *Sotovie sistemi cvyazi* [Cellular communication systems]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy, 2009. 360 p.
8. Annual reports of OJSC «MegaFon». Available at: http://corp.megafon.ru/investors/shareholder/year_report. (In Russian).

Received 02.12.2015

УДК 621.391

ПОРОГ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ

Батенков К.А.

Контрактный военнотружущий, Орел, РФ

E-mail: pustur@yandex.ru

Получено решение задачи синтеза линейного модулятора и демодулятора для линейного фильтрового канала связи с аддитивным шумом по критерию минимальной среднеквадратической ошибки. Проведена оценка технического эффекта полученных решений для случая передачи одномерных двухпозиционных амплитудно-модулированных сигналов, показавшая наличие энергетического выигрыша относительно широко используемой модальной модуляции. Показано, что существует порог устойчивости, после которого рост среднеквадратического отклонения происходит по экспоненте для линейных методов модуляции.

Ключевые слова: модуляция, демодуляция, непрерывный канал связи, среднеквадратическое отклонение, чувствительность.