

ЕЩЕ РАЗ О ПОЛЬЗЕ ЕДИНЕНИЯ

Балькин Г. Ф., Балькин Ю. Г. Ще раз про користь єднання. У роботі проведений аналіз підвищення надійності мереж за рахунок їх об'єднання в єдину структуру. Показано, що таке об'єднання дозволить суттєво збільшити їх надійність та економічність.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОБ'ЄДНАННЯ МЕРЕЖ

Балькин Г. Ф., Балькин Ю. Г. Еще раз о пользе единения. В работе проведен анализ повышения надежности сетей в результате их объединения в единую структуру. Показывается, что такое объединение позволит существенно увеличить их надежность и экономичность.

Ключевые слова: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ОБЪЕДИНЕНИЕ СЕТЕЙ

Balkin G. F., Balkin Yu. G. Once more about the benefit of unity. In this paper we analyzed the reliability of networks by combining them into a single structure. It is shown that such combining would significantly increase the reliability and efficiency.

Key words: TELECOMMUNICATION NETWORK, RELIABILITY, EFFICIENCY, NETWORKS COMBINING

В настоящей работе вновь поднимается вопрос о пользе объединения сетей отдельных операторов в единую сеть, который обсуждался уже ранее [1, 2]. В упомянутых источниках был сделан анализ тех экономических выгод, которые получают в результате объединения как операторы, так и пользователи. Анализ подтвердил ту очевидную истину, что вместе всегда лучше, чем врозь. Обоюдный выигрыш операторов и пользователей исчисляется миллиардами!

В настоящей работе рассмотрен другой аспект той же проблемы – возможное повышение надежности сетей за счет их объединения.

Принципиально и здесь вроде бы все ясно – объединение приведет к улучшению этого параметра. Однако это изначальное заключение необходимо превратить в весомые количественные аргументы, которые бы сняли последние сомнения в пользе объединения. Это и является целью настоящей работы.

Вначале определимся с исходными данными и предметом исследования.

1. Исходные данные и предмет исследования. Естественной отправной точкой может служить определение значения надежности сегодняшних телекоммуникаций и для общества в целом, которое все больше приобретает черты информационного [3]. Для такого общества характерно «увеличение степени зависимости своего существования от функционирования информационных сетей, которая сравнима с зависимостью от систем обеспечения электроэнергией. Это, кроме очевидных достоинств, имеет и обратную сторону. Отказ сети связи может иметь последствия, превосходящие последствия аварий энергосистем» [4].

Казалось бы, возникновение такой зависимости должно быть стимулом для интенсификации работ в этом направлении. На самом деле, многие специалисты отмечают недостаточность усилий в разработке вопросов надежности на фоне общего прогресса в развитии новых технологий и создания служб и сетей на основе IP (см., например, [5]). В результате создаваемые IP-сети по достижимой надежности (вероятность безотказной работы $P \approx 0,999$) далеко уступают “образцовым” сетям TDM и ATM ($P \approx 0,99999$, т.е. “пять девяток”) [6]. Именно эту последнюю величину условно и можно считать допустимой.

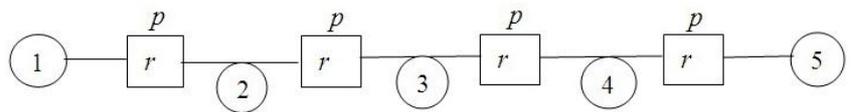
Следовательно, данная проблема и сегодня является чрезвычайно актуальной и требует своего разрешения. Конечно, всеобъемлющее решение требует проведения широкомасштабных и, может быть, фундаментальных исследований.

Здесь же рассмотрим наиболее простой вариант решения, основанный на упомянутом объединении сетей, который позволит получить эффект без осуществления крупных дополнительных капитальных вложений. Ограничимся рассмотрением лишь центральной части сетей, называемой «ядром» (или «core») [7], которая несет основную нагрузку по транспортировке информации, и, следовательно, должна быть самой надежной.

Рассмотрим несколько конфигураций «ядра», содержащего, например, пять транзитных узлов, что для транспортной сети Украины может считаться приемлемым [8]. Оценим их исходную надежность, а затем и эффект от объединения сетей. При этом связи между узлами будем полагать одинаковыми, характеризующимися единым (единичным) ресурсом пропускной способности (обозначим его, например, через r). Это позволит нам сравнить разные варианты построения сети как по надежности, так и по ресурсным затратам. Под «надежностью» будем понимать усредненную вероятность безотказной работы сети [9] при реализации всех вариантов соединений.

2. Анализ и сравнение разных конфигураций сетей без учета эффекта объединения.

2.1. Начнем рассмотрение с простейшей структуры, которую называют «общей шиной» [10] (рис. 1).



r – ресурс пропускной способности; n – узел сети;
 p – вероятность безотказной работы между двумя соседними узлами.

Рис. 1. Сеть «общая шина»

Рассмотрим все варианты соединений (в данном случае их 10) (табл. 1)

Табл. 1

Связь между пунктами	1 - 5	1 - 4	1 - 3	1-2	2 - 3	2 - 4	2 - 5	3 - 4	3 - 5	4 - 5
Показатель надежности	$P_1=p^4$	$P_2=p^3$	$P_3=p^2$	$P_4=p$	$P_5=p$	$P_6=p^2$	$P_7=p^3$	$P_8=p$	$P_9=p^2$	$P_{10}=p$

Усреднив показатели надежности, получим

$$P_{\text{ср.ш}} = 0,1 (p^4 + p^3 + p^2 + p + p + p^2 + p^3 + p + p^2 + p) = 0,1(p^4 + 2p^3 + 3p^2 + 4p), \quad (1)$$

где $P_{\text{ср.ш}}$ – усредненная величина показателя надежности сети.

Используемый суммарный ресурс пропускной способности сети с «общей шиной» будет равен

$$R_{\text{ср.ш.}} = 4r \quad (2)$$

2.2. Далее рассмотрим сеть типа «дерево», которая представлена на рис. 2.

Рассмотрим все варианты соединений (в данном случае их 10) (табл. 2). Усреднив показатели надежности, получим

$$P_{\text{ср.д}} = 0,1 (4p + 6p^2) = 0,4p + 0,6p^2 \quad (3)$$

Используемый ресурс тот же:

$$R_{\text{ср.д.}} = 4r \quad (4)$$

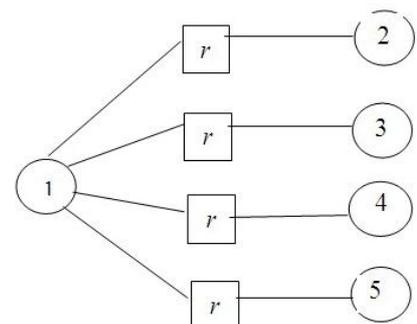


Рис. 2. Сеть «дерево»

2.3. Следующая рассматриваемая конфигурация – “кольцо” (рис. 3)

Рассмотрим все варианты соединений (в данном случае их 10) (табл. 3). Как следует из таблицы, усредненная надежность сети “кольцо” равна:

$$P_{\text{ср.к.}} = 1 - 0,5 \{ (1-p)(1-p^4) + (1-p^2)(1-p^3) \}. \quad (5)$$

Используемый ресурс несколько увеличится: $R_{\text{ср.к.}} = 5r$ (6)

Табл. 2

Связь между пунктами	1 - 2	1 - 3	1 - 4	1 - 5	2 - 5
Показатель надежности	$P_1 = p$	$P_2 = p$	$P_3 = p$	$P_4 = p$	$P_5 = p^2$
Связь между пунктами	2 - 4	2 - 3	3 - 5	3 - 4	4 - 5
Показатель надежности	$P_6 = p^2$	$P_7 = p^2$	$P_8 = p^2$	$P_9 = p^2$	$P_{10} = p^2$

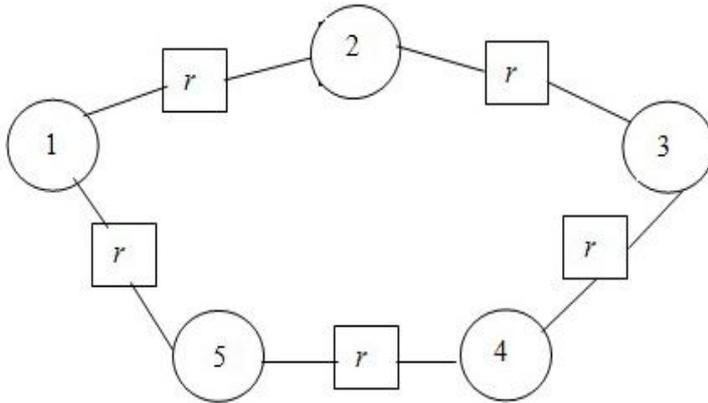


Рис. 3. Сеть “кольцо”

Табл. 3

Связь между пунктами	Показатель надежности
1 - 2	$P_1 = 1 - (1-p)(1-p^4)$
1 - 3	$P_2 = 1 - (1-p^2)(1-p^3)$
1 - 4	$P_3 = 1 - (1-p^2)(1-p^3)$
1 - 5	$P_4 = 1 - (1-p)(1-p^4)$
2 - 3	$P_5 = 1 - (1-p)(1-p^4)$
2 - 4	$P_6 = 1 - (1-p^2)(1-p^3)$
2 - 5	$P_7 = 1 - (1-p^2)(1-p^3)$
3 - 4	$P_8 = 1 - (1-p)(1-p^4)$
3 - 5	$P_9 = 1 - (1-p^2)(1-p^3)$
4 - 5	$P_{10} = 1 - (1-p)(1-p^4)$

2.4. И рассмотрим конфигурацию полностью связанной сети “каждый с каждым” (см. рис. 4).

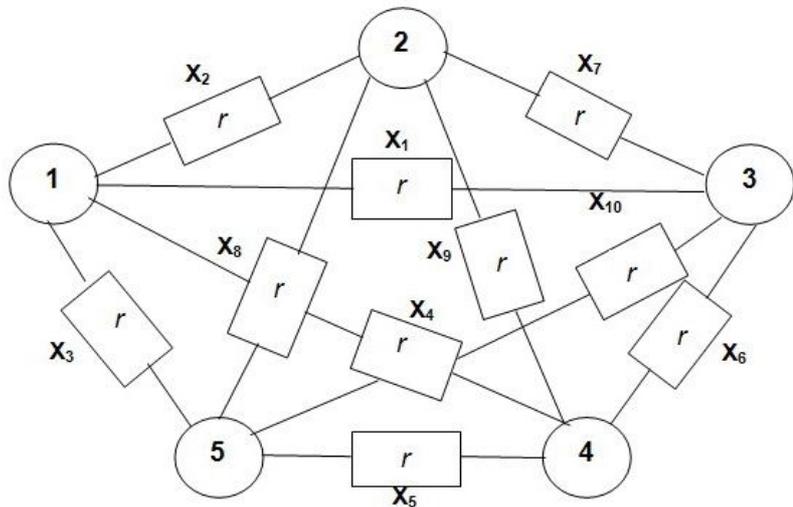
Именно эта конфигурация чаще всего используется для повышения надежности магистральных сетей. Структура сети, представленная на рис. 4, относится к числу сложных. Поэтому воспользуемся одним из методов – методом прямого перебора –, рекомендованных в [11] для подобных случаев. Расчет ведется в соответствии с рис. 4.

Для получения результатов в соответствии с этой методологией необходимо рассмотреть все варианты состояния системы, и для каждого состояния определить его вероятность и вид ситуации (работоспособность (p) или отказ (0)). Результаты рассмотрения сводятся в табл. 4.

В результате анализа данных табл. 4 с учетом того, что характеристики всех соединений одинаковы, получаем:

$$P_{\text{ср.кк}} = p^{10} + 10qp^9 + 45q^2p^8 + 120q^3p^7 + 209q^4p^6 + 240q^5p^5 + 174q^6p^4 + 63q^7p^3 + 12q^8p^2 + q^9p + q^{10}, \quad (7)$$

где p – вероятность безотказной работы, q – вероятность отказа соединения.



$x_1 \div x_{10}$ – направления соединений

Рис. 4. Сеть “каждый с каждым”

Табл. 4

№п/п	Соединение										Вид состояния: рабочее – p, отказ - o	Вероятность состояния
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	p	p^{10}
...
...
177	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	o	$q^4 p^6$
...
...
1024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	o	q^{10}

Используемый ресурс в этом случае еще больше: $R_{\text{ср.кк}} = 10r$. (8)

Полученные выражения (1)...(8) позволяют сравнить рассмотренные структуры по надежности и требуемым ресурсам. Для этого необходимо определиться с исходными данными (выбрать величины p и r). Отметим, что результаты расчетов будут использоваться для сравнения. Поэтому величины p и r могут быть ориентировочными, лишь бы они были одинаковыми для всех вариантов и находились в границах их естественных изменений.

Исходя из этого, примем: $p=0,999$ (надежность IP-сети); $r = 1 \cdot 10^9$ грн (10% от стоимости первичной сети [1], похожей на сеть Укртелекома).

Для выбранных исходных данных получим результаты, приведенные в табл. 5.

Табл. 5

Конфигурация	Общая шина	Дерево	Кольцо	Каждый с каждым
$P_{\text{ср}}$	$P_{\text{ср.ош}}=0,998$	$P_{\text{ср.д}} = 0,9976$	$P_{\text{ср.к}}=0,999995$	$P_{\text{ср.кк}}=0,9999993$
$R_{\text{ср}}$, грн	$R_{\text{ср.ош}}=4 \cdot 10^9$	$R_{\text{ср.д}} = 4 \cdot 10^9$	$R_{\text{ср.к}} = 5 \cdot 10^9$	$R_{\text{ср.кк}} = 10 \cdot 10^9$

Как видно из данных таблицы, надежность первых двух вариантов уступает последним вариантам и является неудовлетворительной ($P_{\text{ср}} < 0,99999$). Правда, требуемые затраты пропускной способности в этих вариантах существенно меньше, но это не делает эти сети допустимыми для использования.

Следует отметить, что данные табл. 5 являются ожидаемыми. Они лишь подчеркивают мысль, что более надежная сеть является более дорогой. Однако в следующих разделах эта простая истина ставится под сомнение.

3. Изменение надежности сетей при их объединении. При объединении сетей большое значение имеет способ его реализации и конфигурации сетей. Мы выберем “идеальный” вариант, при котором конфигурации объединяемых сетей одинаковы, и места расположения узлов разных сетей совпадают. Эти предположения не могут быть абсолютно обоснованными, однако некоторые основания для них все-таки имеются. Действительно, какой бы оператор не строил сеть, он в первую очередь будет стремиться располагать свои главные узлы в самых крупных городах, чтобы создать наибольшее количество пользователей. Поэтому хотя бы для теоретических расчетов объединяемые сети можно рассматривать как одинаковые. При этом дополнительные расходы и влияние на надежность объединенной сети соединений двух узлов с одинаковыми номерами не учитываются в виду

их незначительности по сравнению с соединением двух соседних узлов элементарного участка.

В этом случае объединяемая сеть будет выглядеть так, как показано на рис. 5 (применительно к сети “общая шина”).

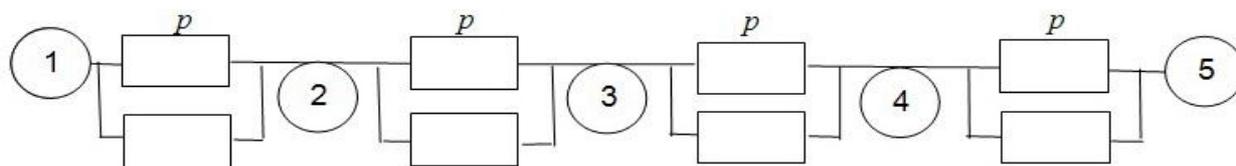


Рис. 5. Объединенная сеть “общая шина”

Сделанные предположения позволяют существенно упростить последующие расчеты. При этом расчетные формулы (1)...(8) остаются действительными при следующих заменах: для двух объединяемых сетей вероятность безотказной работы элементарного участка сети будет равна $p^{(2)} = 1 - (1-p)^2$; для трех объединяемых сетей – $p^{(3)} = 1 - (1-p)^3$ и т.д.

Подставляя эти значения в те же формулы (1), (3), (5), (7) получим средние значения вероятности безотказной работы для объединенных сетей. После расчетов получим данные, представленные в табл. 6.

Табл. 6

Количество объединяемых сетей	Тип сети			
	Общая шина	Дерево	Кольцо	Каждый с каждым
2 сети	$P_{\text{ср.ош}}^{(2)} = 0,999998$	$P_{\text{ср.д}}^{(2)} = 0,999998$	$P_{\text{ср.к}}^{(2)} \approx 0,99999999$	$P_{\text{ср.кк}}^{(2)} \approx 0,999999999$
3 сети	$P_{\text{ср.ош}}^{(3)}$ более 0,999999999	$P_{\text{ср.д}}^{(3)}$ более 0,999999999	$P_{\text{ср.к}}^{(3)}$ более 0,999999999	$P_{\text{ср.кк}}^{(3)}$ более 0,999999999

Как видно из таблицы, эффект от объединения сетей оказывается весьма значительным. Даже объединение двух сетей каждая из них делается более надежной, чем образцовая сеть с пятью девятками. При этом совсем не обязательно, чтобы объединяемые сети были сложными (т.е. дорогими). Объединение двух сетей типа “общая шина” превращает их в сверхнадежные, не говоря уже об интеграции трех, четырех и более сетей.

Таким образом, объединение сетей может привести к существенному повышению их надежности. При этом вопрос о крупных капитальных вложениях для достижения этой цели вообще не стоит. Эффект повышения надежности практически достигается даром. Рассмотрим некоторые экономические особенности этого процесса.

4. Некоторые экономические аспекты объединения сетей. Вопрос изменений на телекоммуникационном рынке при объединении сетей на базе единой первичной сети рассмотрен в [2]. Это объединение приводит к существенной финансовой выгоде как для потребителей, так и для операторов.

Повышение надежности сетей также создает дополнительные экономические возможности. Интуитивно ясно, что повышение надежности – это повышение качества. А качество – это потенциальные деньги. К сожалению, общей четко выраженной зависимости между качеством и потенциальной выгодой (в частности, за счет увеличения надежности) не существует. Хотя имеется множество обсуждений этой темы (см., например, [12]). Поэтому эту проблему приходится решать частным образом применительно к конкретным условиям.

Попытаемся и мы пойти по такому же пути. Данные табл. 1 дают нам такую возможность. В этой таблице как раз и прослеживается зависимость стоимости сети от ее

надежности (вероятности безотказной работы). Она показана на рис. 6. На горизонтальной оси рисунка представлена вероятность безотказной работы (нелинейная шкала). На вертикальной оси показана относительная стоимость сети (в единичных ресурсах r).

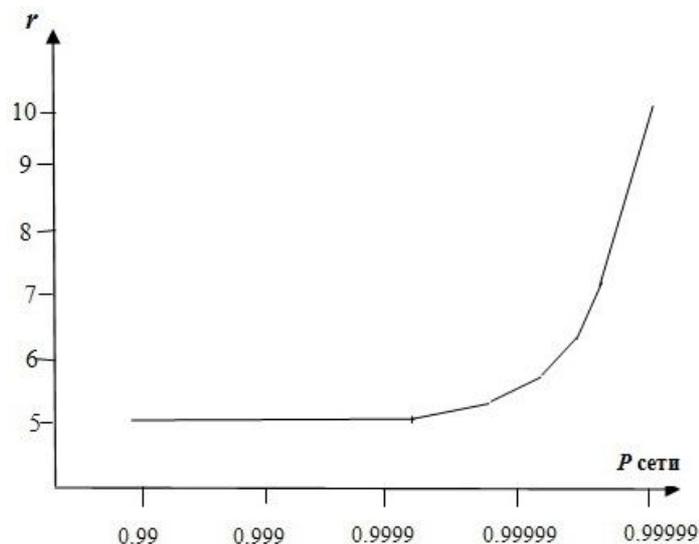


Рис. 6. Зависимость стоимости сети от ее надежности

График рис. 6 позволяет (разумеется, очень ориентировочно) оценить экономический эффект от объединения сетей. Например, объединение двух сетей “общая шина” позволяет повысить надежность с 0,998 до 0,999998 без увеличения капитальных затрат, т.е. сэкономить величину не менее $\Delta = 10r - 4r = 6r$.

В табл. 7 представлена величина экономии для разных вариантов сетей (при $r=1 \cdot 10^9$, грн) и соответствующий прирост надежности при объединении сетей.

Табл. 7

Количество объединяемых сетей		Тип сети			
		Общая шина	Дерево	Кольцо	Каждый с каждым
2 сети	Прирост надежности	$1,998 \cdot 10^{-3}$	$2,398 \cdot 10^{-3}$	$4,99 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-8}$
	Экономия, грн	$4 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^9$
3 сети	Прирост надежности	$>1,999999999 \cdot 10^{-3}$	$>1,999999999 \cdot 10^{-3}$	$>1,999999999 \cdot 10^{-3}$	$>1,999999999 \cdot 10^{-3}$
	Экономия, грн	$20 \cdot 10^9$	$20 \cdot 10^9$	$20 \cdot 10^9$	$20 \cdot 10^9$

Как видно, данные таблицы приводят, казалось бы, к парадоксальному заключению: объединение сетей может привести к существенному увеличению надежности сети каждого оператора без соответствующих капитальных затрат. При этом наибольший прирост надежности будет наблюдаться на простых сетях “общая шина” и “дерево”. Таким образом качественные характеристики сети можно существенно улучшить и без больших затрат. Необходимо только воспользоваться теми возможностями объединения сетей, которые сегодня имеются.

Если же каждый оператор будет решать эту проблему самостоятельно, то строка «экономия» табл. 3 сразу же превращается в строку «дополнительные расходы». Например, чтобы “обнадежить” простую сеть типа “общая шина” (т.е. довести ее надежность до приемлемого уровня), необходимо увеличить затраты на стоимость ресурса $1r$ (сеть “кольцо”) или $6r$ (сеть “каждый с каждым”).

Строительство же параллельных сетей “для себя” обойдется еще дороже.

Таким образом, проведенное исследование приводит к убеждению, что объединению сетей нет альтернативы как с точки зрения повышения их надежности, так и с точки зрения экономии расходов.

Изложенное выше позволяет сделать следующие **выводы**:

- проблема повышения надежности сетей сегодня является одной из актуальных и требует своего разрешения;
- анализ надежности сетей различных конфигураций показывает, что надежность простых сетей (“общая шина”, “дерево”) существенно уступает надежности сетей типа “кольцо” и “каждый с каждым” и является неудовлетворительной;
- повышение надежности может быть достигнуто за счет усложнения конфигурации сети, однако, такой путь приводит к существенному удорожанию сети;
- объединение существующих сетей создает возможность существенного повышения надежности сетей без больших дополнительных расходов;
- учитывая также и существенный экономический эффект от объединения сетей, на наш взгляд является целесообразным формирование и проведение соответствующей политики со стороны НКРС, что принесет пользу как операторам, так и потребителям.

Литература

1. Балькин Г. Ф. Конкуренция в телекоммуникациях: некоторые особенности [Электронный ресурс] / Г. Ф. Балькин, Ю. Г. Балькин // – Режим доступа : www.nkrz.gov.ua/img/zstored/file/dopovid-balkin.doc/
2. Балькин Г. Ф. Как сориентировать конкуренцию в отрасли связи на пользу обществу? / Г.Ф. Балькин, Ю. Г. Балькин // «Зв’язок». – 2012. – №1. – С.18-22.
3. Узобстер Ф. Теории информационного общества / Ф. Узобстер. – Москва, «Аспект-пресс», 2004. – 398 с.
4. Тоценко В. Проблемы надежности сетей [Электронный ресурс] / В. Тоценко // Компьютерра. – 1998. – №14. – Режим доступа : <http://offline.computerra.ru/1998/242/1248/>
5. Нетес В. А. Надежность сетей связи в период перехода к NGN / В. А. Нетес // Вестник связи. – 2007. – №9. – С.1-8.
6. Барсков А. Г. IP в погоне за “пятью девятками” [Электронный ресурс] / А. Г. Барсков // – Режим доступа : www.ccc.ru/magazine/depot/03_09/read.html/0305.htm
7. Афанасьев В. В. Определение места решений №6N в структуре сотовых сетей 2,5G/3G / В. В. Афанасьев, В. И. Демчук // Технологии и средства связи. – 2006. – №5.
8. Балькин Г. Ф. Транспортна мережа як база для створення NGN / Г. Ф. Балькин // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань. – 2004. – №3. – С.27-47/
9. Ball H.O. Network Reliability (сетевая надежность) [Электронный ресурс] / H. O. Ball, S. J. Colbourn, J.S. Provan ; авторизованный перевод Ю. А. Семенова и А. А. Гончаровой (ИТЭФ/ЦНТК) // – Режим доступа : www.sai.msu:700/nets/semenov/4/45/network_r.shtml
10. Шина (топология компьютерной сети) [Электронный ресурс] // – Режим доступа : www.ru.wikipedia.org/wiki/шина
11. Козлов Б. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. Козлов, И. Ушаков. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
12. Кампанелла Дж. Экономика качества / Дж. Кампанелла. – М.: С и К.М., 2005. – 232 с.