

Параметры украинского сегмента Интернет как сложной сети

*Научно-исследовательский центр по вопросам правовой информатики
Академии правовых наук Украины,
Информационный центр «ЭЛВИСТИ»*

С момента обретения независимости Украина начала процесс «обустройства своей жизни», учитывая при этом, что одной из основных функций, а значит и обязанностей, государства является обеспечение защиты самого себя и своих граждан.

Важной составляющей «жизни государства» является национальное информационное пространство, в том числе и та его часть, которая базируется на использовании современных компьютерных и телекоммуникационных систем.

В данной статье речь будет идти об информационном пространстве, которое базируется на использовании компьютерно-сетевых технологий.

Сочетание необходимости построения национального информационного пространства с одновременным интегрированием в мировое информационное пространство привело к созданию, постоянному укреплению и расширению украинского сегмента глобальной компьютерной сети Интернет.

Однако необходимо учитывать, что в современном мире, при достигнутом уровне развития техники и технологий в этой сфере, дальнейшее расширение национального информационного пространства без анализа и учета ряда обстоятельств несет определенные риски в области национальной безопасности.

Принимая это во внимание, в статье 7 «Угрозы национальным интересам и национальной безопасности Украины» Закона Украины «Про основы национальной безопасности Украины» к основным реальным и потенциальным угрозам национальной безопасности Украины отнесены компьютерная преступность и компьютерный терроризм, попытки манипулирования общественным сознанием, в частности, путем распространения недостоверной, неполной или предвзятой информации.

Всесторонняя оценка реального состояния украинского сегмента Интернет, позволит устранить или, хотя бы, снизить вероятность определенных видов рисков, которые могут повлиять на уровень обеспечения национальной безопасности и защиты национальных интересов.

В данной работе рассматриваются отдельные параметры украинского сегмента Интернет через призму вышеизложенного.

Глобальная компьютерная сеть Интернет состоит из сотен тысяч узлов, осуществляющих передачу данных методом пакетной коммутации. Для маршрутизации данных в такой сложной сети разработаны и используются в качестве стандартов единые «межузловые» протоколы маршрутизации и правила построения политик маршрутизации.

Наличие физического подключения между сетевым оборудованием в Интернет является необходимым, но не достаточным условием наличия связи. Связность между узлами Интернет определяется наличием пограничного взаимодействия между группами сетевого оборудования. С точки зрения этого пограничного взаимодействия, узлом сети мы будем называть группу маршрутизаторов, объединенных общей политикой маршрутизации в автономную

систему. Под автономной системой (autonomous system, AS) понимается группа IP-сетей, принадлежащих одному или нескольким операторам, и имеющая единую, четко определенную политику маршрутизации [1].

Маршрутизация пакетов внутри автономных систем производится средствами протоколов внутренней маршрутизации (interior gateway protocol, IGP) [2]. В большинстве случаев при внутренней маршрутизации решения принимаются на основе параметров, которые зависят от технических характеристик и особенностей, таких как физическая топология каналов, скорость передачи и нагрузка. Автономные системы обмениваются роутинговой информацией, используя протоколы внешней маршрутизации (exterior routing protocol, EGP) [3]. В EGP решения часто базируются на политике, не связанной непосредственно с техническими характеристиками сетей. В современном Интернете протоколом взаимодействия между автономными системами является BGP-4 (border gateway protocol, version 4) [4, 5]. Протокол имеет средства фильтрации роутинговой информации, установки приоритетов в соответствии с политикой маршрутизации и т.д., но не имеет средств публикации этой политики. Для публикации правил маршрутизации автономных систем используются централизованные базы данных - так называемые реестры маршрутизации (routing registry, RR) [6].

Точки обмена трафиком (на примере UA-IX)

Предназначение точек обмена трафиком в Интернете - уменьшить затраты на обмен трафиком с другими узлами Сети.

Украинская точка обмена трафиком UA-IX состоит из нескольких коммутаторов, объединенных каналами связи Ethernet, и двух маршрутизаторов, образуя, таким образом, опорный сегмент сети (backbone). Маршрутизаторы обеспечивают обмен таблицами маршрутизации в пределах backbone. Протокол обмена маршрутной информацией – BGP-4. Каждый участник точки обмена, подключающийся к порту любого коммутатора, устанавливает BGP сессию с обоими серверами маршрутизации (routing server, RS) и передает на них (анонсирует) информацию об имеющихся у него IP-сетях. Далее эта информация распространяется среди прочих участников, образуя таким образом единое поле маршрутизации в пределах точки обмена трафиком. Оба сервера маршрутизации содержат идентичную конфигурацию [7]. Таким образом, выход из строя одного из серверов маршрутизации не приводит к нарушению работоспособности точки обмена. Фильтры на BGP сессиях строятся на основе информации в базе данных европейского реестра маршрутизации — RIPE Routing Registry. Таким образом, каждый Участник должен иметь свою автономную систему, соответствующий ей блок сетей и корректно обновлять информацию о своем взаимодействии с Сетью обмена трафиком в базе данных RIPE. Это гарантирует безопасность и прозрачность функционирования Сети обмена трафиком.

Взаимодействие между Участниками осуществляется по протоколу BGPv4 посредством обмена таблицами маршрутизации между маршрутизатором Участника и серверами маршрутизации UA-IX. При этом трафик между Участниками проходит напрямую через порты коммутатора, минуя серверы маршрутизации.

В соответствии с политикой маршрутизации UA-IX, каждый участник обязан отдавать на RS таблицы маршрутизации своей автономной системы и имеет право анонсировать таблицы маршрутизации автономных систем своих клиентов

при условии обязательного приема ими таблиц маршрутизации от UA-IX. Таким образом достигается симметрия трафика в сети.

Узлы - участники UA-IX, помимо связи через AS UA-IX, зачастую имеют и прямые каналы связи с другими участниками (далее – узлы-«соседи»). На этих каналах также строится пограничное взаимодействие, образующее связанную сеть (рис. 1). При пограничном взаимодействии на прямых каналах (ребро а на рис.1), в зависимости от политики, узлы могут обмениваться таблицами маршрутизации только своих AS, либо могут включать во взаимодействие и AS своих клиентов (резкспорт анонсов), либо даже делать резкспорт анонсов сетей, полученных от UA-IX. При этом средствами BGP-4 определяется приоритетность маршрутов: чем короче связь, тем выше приоритет. Практически это означает, что анонсы AS узлов и их клиентов, передаваемые взаимно по прямому каналу, приоритетнее, чем анонсы от тех же AS, полученные ими через UA-IX. И наоборот: анонсы прочих AS, полученные через UA-IX по прямому каналу, приоритетнее, чем эти же анонсы, полученные от UA-IX через канал узла-«соседа».

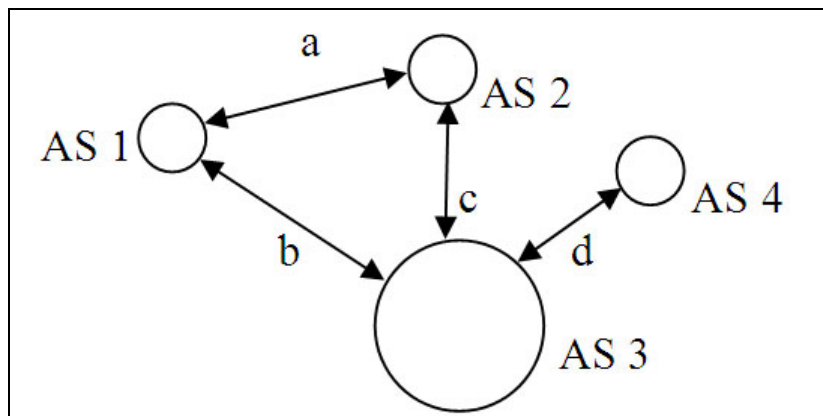


Рис.1. Точка обмена и узлы-«соседи»: AS 1,2,4 – узлы-«соседи», участники точки обмена; AS 3 — точка обмена трафиком; a,b,c - каналы связи с пограничным взаимодействием

Таким образом, улучшается надежность сети, благодаря тому, что:

- трафик между двумя узлами – участниками точки обмена, но имеющими прямой канал между собой, всегда идет по прямому каналу, а в случае его неработоспособности — через точку обмена трафиком;
- трафик между узлом и другими участниками точки обмена, с которыми он не имеет прямых каналов, всегда идет через точку обмена; если канал через точку обмена неработоспособен, то, в зависимости от политики маршрутизации, трафик может пойти через канал к соседнему узлу.

Характеристики сложной сети

В последнее время сформировалась отдельная область дискретной математики, называемая теорией сложных сетей (complex networks), изучающая характеристики сетей, учитывая не только их топологию, но и распределение весов отдельных узлов [8].

Остановимся на некоторых важнейших понятиях из теории сложных сетей, рассматриваемых в рамках данной работы.

Расстояние между узлами можно определить также как количество шагов, которые необходимо сделать, чтобы добраться от одного узла до другого. Естественно, узлы могут быть соединены прямо или опосредствовано. Путем между узлами называется кратчайшее расстояние между ними. Для всей сети можно ввести понятие среднего пути, как среднего по всем парам узлов кратчайшего расстояния между ними. Однако некоторые сети могут оказаться несвязными, т.е. найдутся узлы, расстояние между которыми окажется бесконечным. Соответственно, средний путь может оказаться также равным бесконечности. Для учета таких случаев вводится понятие среднего инверсного пути между узлами il , рассчитываемого по формуле:

$$il = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} \frac{1}{d_{ij}},$$

где d_{ij} – кратчайшее расстояние между узлами i и j .

Коэффициент кластерности [9] характеризует тенденцию к образованию групп взаимосвязанных узлов, так называемых клик (clique). Для отдельного узла сети, имеющего степень k , т.е. из которого исходит k ребер, соединяющих его с k другими узлами (так называемыми ближайшими соседями), коэффициент кластерности определяется как число, соответствующее отношению реального количества ребер, которыми соединяются ближайшие соседи рассматриваемого узла, к максимально возможному, как известно, равному $k(k-1)/2$.

Уровень кластерности для всей сети определяется как среднее по всем узлам сети значение коэффициентов кластерности этих узлов.

Одной из важных характеристик узлов является посредничество (betweenness), которое в литературе иногда обозначается также как нагруженность (load). Эта характеристика отражает роль узла в установлении связей в сети и показывает, сколько кратчайших путей проходит через него, и очень важна для Интернет, где узлы с большим уровнем посредничества играют главную роль в установлении связей с другими узлами. Очевидно, что чем выше коэффициент посредничества узла, тем меньше его кластерность.

Важной характеристикой сети является распределение степеней узлов $P(k)$, которое определяется как вероятность того, что узел i имеет степень $k_i = k$. Известно, что сети, имеющие различное распределение степени, демонстрируют различное поведение [10]. $P(k)$ в некоторых случаях может быть распределением Пуассона, экспоненциальным или степенным распределением.

Украинский сегмент Интернет

В рамках данной работы исследовались параметры украинского сегмента Интернет как сложной сети. Исходные данные для анализа были предоставлены Информационным центром EIVisti, который является одним из участников UA-IX. Анализ проводился на основе BGP-таблицы маршрутизации (рис. 2), полученной непосредственно с маршрутизатора, взаимодействующего с UA-IX, в которой были представлены все анонсы, полученные участником от RS точки обмена.

Данная таблица содержит анонсы около 3000 блоков IP-адресов (подсетей), полученных от 1034 автономных систем. На рис. 3 представлена схема связей автономных систем. Графическое изображение (узлы AS – точки, размещенные на окружности, связи – хорды) дает представление о наличии явно лидирующих AS — узлов, степень которых максимальна. Это прежде всего Datagroup и UA-IX (соответственно, 139 и 88 связей).

```

BGP table version is 4253085, local router ID is 195.64.226.67
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
* 62.16.0.0/19    195.35.65.3        90      0 15645 12530 8192 i
*>                195.35.65.3        90      0 15645 12530 8192 i
* 62.64.64.0/21   195.35.65.3        90      0 15645 12530 i
*>                195.35.65.3        90      0 15645 12530 i
* 62.80.160.0/19  195.35.65.224      90      0 15645 25386 i
*>                195.35.65.224      90      0 15645 25386 i
* 62.149.0.0/19   195.35.65.14       90      0 15645 15497 i
*>                195.35.65.14       90      0 15645 15497 i
* 62.176.0.0/21   195.35.65.34       90      0 15645 21011 28809 21453 41783 41783 i
*>                195.35.65.34       90      0 15645 21011 28809 21453 41783 41783 i
* 62.182.80.0/21  195.35.65.34       90      0 15645 21011 25132 i
*>                195.35.65.34       90      0 15645 21011 25132 i
* 62.182.120.0/21 195.35.65.66       90      0 15645 34251 i

```

Рис. 2. Фрагмент таблицы BGP, относящейся к UA-IX

Вместе с тем изучение параметров этой сети, в том числе распределения степеней узлов, показало, что 777 AS из 1034 имеют степень 1, т.е. являются листьями графа, соответствующего рассматриваемой сети. Соответственно, кластерность такой сети также очень мала (составляет 0,004).

Для изучения свойств, связанных с надежностью, защитой от уязвимостей данной сети, авторами была реализована процедура выделения «опорной сети», заключающаяся в многоэтапном отрезании листьев исходного графа. На первом этапе было удалено 777 листьев, на втором этапе из полученного в результате графа было удалено 111 листьев, на третьем этапе было удалено 16, а на четвертом – 1 оставшийся лист. В результате была получена опорная сеть, состоящая из 128 узлов, каждый из которых имеет степень, не меньшую, чем 2 (рис. 4).

В пятерку узлов опорной сети с самой высокой степенью входят:

- AS 15645 (UA-IX) — 43 связи с узлами, имеющими степень 2 и выше;
- AS 21219 (Datagroup) — 31 связь;
- AS 35320 (ETT) — 17 связей;
- AS 12530 (Golden Telecom) — 12 связей;
- AS 13249 (IT Systems) — 10 связей.

Одним из результатов, полученных в рамках данного исследования, является установление того факта, что узлы рассматриваемой опорной сети с максимальным количеством исходящих ребер (степенью) преимущественно обладают высоким уровнем посредничества (низким уровнем кластерности, рис. 6), что не позволяет рассматривать их как основы для построения кластеров при автоматической группировке, а скорее как элементы, соединяющие отдельные группы узлов.

Известно, что сети со степенным распределением степеней узлов называют безмасштабными (scale-free). Именно к безмасштабным сетям относится Интернет. Рассматриваемая опорная сеть также оказалась безмасштабной, зависимость распределения степеней ее узлов (рис. 5) с высокой точностью аппроксимируется степенной функцией. Средний инверсный путь данной сети оказался равным 0,32, а коэффициент кластерности – 0,04, что свидетельствует о том, что данная сеть (как, впрочем, и весь Интернет [11]), является малым миром (Small World) [9].

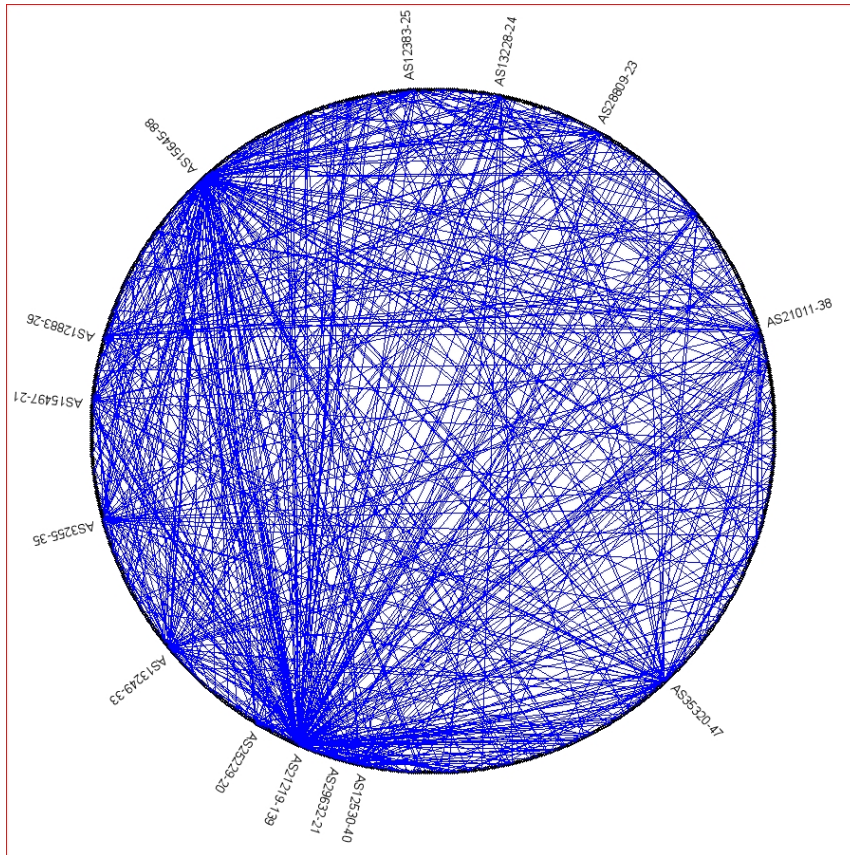


Рис. 3. Схема связей AS украинского сегмента Интернет (на схеме обозначены крупнейшие узлы и их степень)

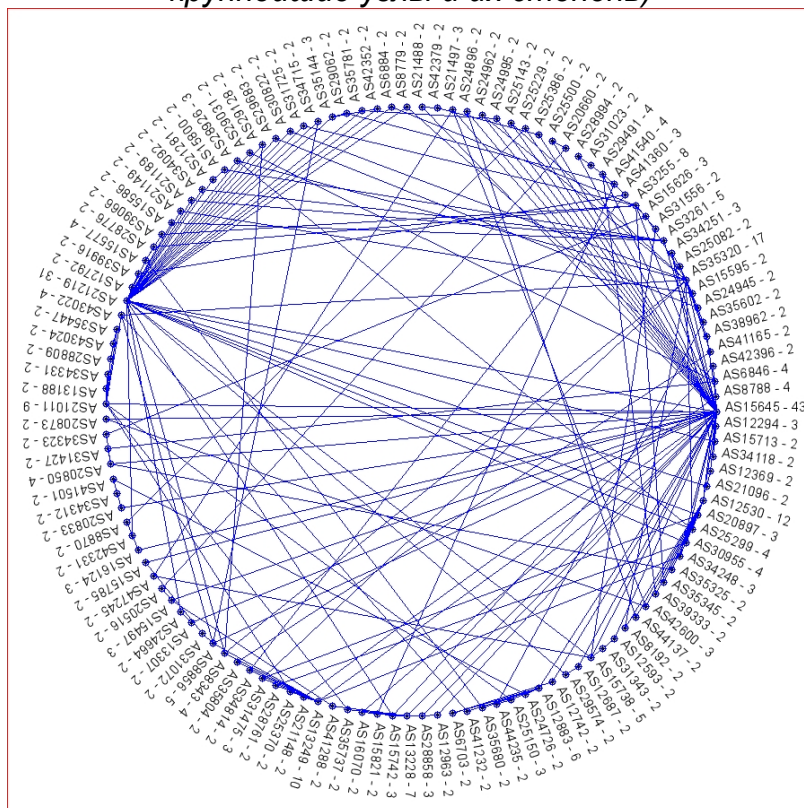


Рис. 4. Опорная сеть украинского сегмента Интернет, состоящая из узлов со степенью 2 и выше

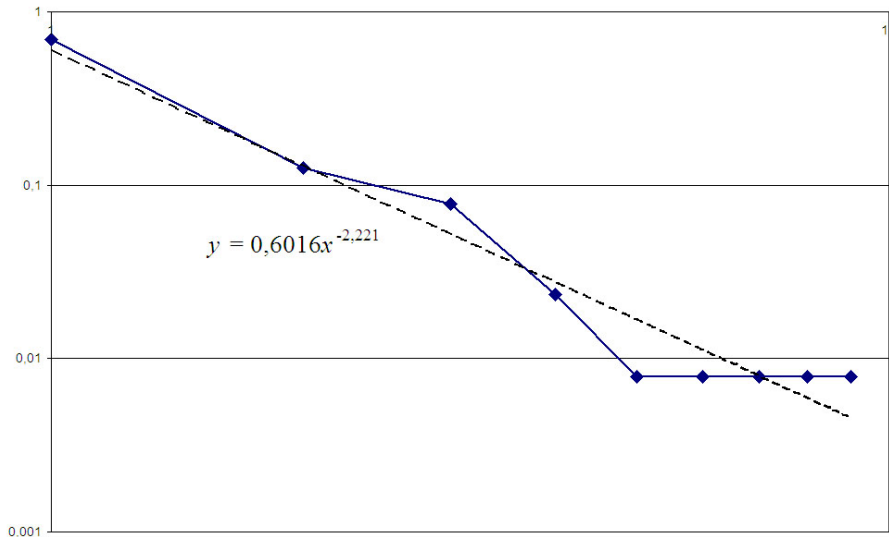


Рис. 5. Распределения степеней опорной сети (начиная с $k = 2$) в логарифмической шкале и аппроксимирующая степенная функция

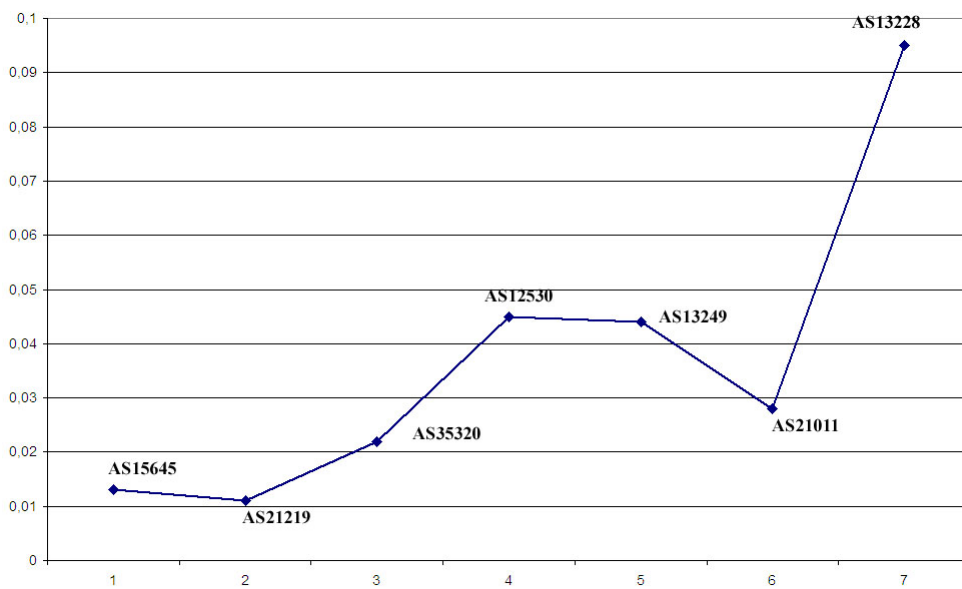


Рис. 6. Коэффициенты кластерности (ось ординат) для узлов, ранжированных по степени

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать несколько выводов, относящихся к структуре украинского сегмента Интернет. Например, было обнаружено, что 907 автономных систем украинских узлов анонсируются в точку обмена либо одним путем (AS-path), либо (резэкспортом) через единственного их соседа. Таким образом, с математической точки зрения, они являются вершинами графа со степенью 1.

С практической точки зрения, большинство узлов украинского сегмента Интернет:

- не являются транзитными;
- окажутся изолированными от точки обмена при разрыве их единственной связи;

- будут обмениваться трафиком с другими украинскими узлами через узлы, находящиеся вне украинского сегмента Интернет.

Этими «односвязными» AS, как правило, являются Интернет-узлы средних по размеру компаний, небольшие операторы и Интернет-провайдеры (небольшие домосети и т.д.). Как правило, они находятся вдалеке от основных информационных потоков, поскольку в их сетях не размещаются ни генераторы, ни потребители ощутимых в масштабах UA-IX объемов трафика (т.к. при наличии таковых эти мелкие узлы перерастают в большие, с более высокой связностью).

В то же время 128 украинских узлов, включая непосредственно UA-IX, имеют степень 2 и выше, улучшая связность всей сети (см. рис. 4).

В силу вышесказанного можно сделать общее заключение о достаточно высоком уровне защищенности украинского сегмента Интернет от внешнего несистематического «влияния» и о необходимости целенаправленного его повышения для предотвращения целенаправленных атак на основные узлы коммутации.

В заключение выражаем благодарность сотрудникам Информационного центра «ЭЛВИСТИ» А.Т. Дармохвалу и А.В. Карпцову за конструктивное обсуждение отдельных аспектов, изложенных в данной работе, и помощь при получении исходных данных.

Список литературы

- [1] T. Bates, E. Gerich etc. Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry (ripe-181). - 1994. <ftp://ftp.ripe.net/ripe/docs/ripe-181.txt>
- [2] F. Le Faucheur, R. Uppili. RFC3785 - Use of Interior Gateway Protocol (IGP) Metric as a second MPLS Traffic Engineering (TE) Metric. - 2004. <http://rfc.net/rfc3785.html>
- [3] E.C. Rosen. RFC 827 - Exterior Gateway Protocol (EGP). - 1982. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc827.html>
- [4] Y. Rekhter, T. Li. RFC1771 - A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). - 1995. <http://rfc.net/rfc1771.html>
- [5] Y. Rekhter, P. Gross. RFC 1772 - Application of the Border Gateway Protocol in the Internet. - 1995. <http://rfc.net/rfc1772.html>
- [6] Tony Bates, Daniel Karrenberg. Description of Inter-AS Networks in the RIPE Routing Registry (ripe-103). - 1993. <ftp://ftp.ripe.net/ripe/docs/ripe-103.txt>
- [7] Украинская сеть обмена трафиком. Техническое описание. <http://ua-ix.net.ua/specs.phtml>
- [8] M.E.J. Newman. The structure and function of complex networks // SIAM Review. - 2003. - Vol. 45. pp. 167–256.
- [9] D.J. Watts, S.H. Strogatz. Collective dynamics of “small-world” networks. // Nature. - 1998. - Vol. 393. pp. 440-442.
- [10] Ю. Головач, К. фон Фербер, О. Олємської, Т. Головач, О. Мриглод, І. Олємської, В. Пальчиков. Складні мережі // Журнал фізичних досліджень, 2006. –Т. 10. - С. 247–291.
- [11] Д. Ландэ, А. Снарский. Попытки объять необъятное, или World Wide Web под прицелом // Сети и бизнес, 2007. - № 4 (35). - С. 18-24.

Рецензент: директор Научно-исследовательского центра правовой информатики, д-р економ. наук, проф. член-кор. АПН Украины М.Я. Швец, Киев