

Я.М. Антонюк

Анализ современных подходов к организации телекоммуникационной инфраструктуры кампусных компьютерных сетей научно-образовательного пространства академических учреждений

Проведен анализ современных подходов к организации телекоммуникационной инфраструктуры кампусных компьютерных сетей и структур, имеющих специфику деятельности научно-учебных заведений и составляющих научно-образовательного пространства в процессе организации корпоративной телекоммуникационной инфраструктуры и функциональности распределенного компьютеринга.

The analysis is given of modern approaches to the organization of a telecommunication infrastructure of campus computer networks and structures which have a specific activities of the science-educational community and the principles of the scientific-educational space in the process of the organization of the corporate telecommunication infrastructure and the functionality of the distributed computing.

Дано аналіз сучасних підходів до організації телекомунікаційної інфраструктури кампусних комп'ютерних мереж та структур, які мають специфіку діяльності науково-навчальних закладів та складових науково-освітнього простору в процесі організації корпоративної телекомунікаційної інфраструктури і функціональністю розподіленого комп'ютерингу.

Введение. В связи с развитием телекоммуникационной инфраструктуры (ТИ) кампусных компьютерных сетей (КС) и структур, организаций, имеющих специфику деятельности научно-учебных заведений и составляющих научно-образовательного пространства (НОП), расширением ТИ до корпоративных масштабов и требованиями распределенного компьютеринга [1, 2] необходимо провести обзорный анализ практической реализации алгоритмов и расчетов, относительно программно-технических решений, принципов создания и применения сервисов НОП. На основе технологических стандартов [3, 4], которые применяются в ТИ и центрах управления сетями, предоставит рекомендованный обзор решений создания центра управления сетями, в частности, базового компьютерного телекоммуникационного узла (БКТУ) НОП.

Постановка задачи

Решение задачи основано на рассмотрении аналогии, относительно использования технологий группирования и объединения сервисов с перспективой создания облакообразных структур БКТУ и НОП для обеспечения массовости и непрерывности начально-образовательного процесса [5]. В условиях развития технологий и необходимости реагирования программных дополнений рабочих комплексов НОП к потребностям пользователей [6] рассмотрены общие задачи моделирования в ТИ, условия построения имитационных моделей сегмен-

тов ТИ и теоретические подходы, параметры и критерии создания моделей в ТИ НОП, принципы построения моделей шлюзовых станций, выделенных серверов, общей модели серверного комплекса БКТУ. Отдельное внимание предоставляется методикам системного контроля и отслеживания состояния ТИ БКТУ и НОП с учетом параметров QoS [2, 3].

Функционирование НОП обуславливает деятельность базовых научно-учебных заведений и других составляющих общей структуры области науки и образования [5, 6]. Таким образом, фактически проблема организации телекоммуникационного пространства как компонента НОП рассматривается по аналогии с заданием построения ТИ корпоративного кампуса.

Говоря о кампусе [7], имеем в виду группу компактно расположенных зданий или корпусов, например, промышленных предприятий, учебных заведений, вузов, студенческих городков. Соответственно, под *корпоративным кампусом* будем понимать структуру объединения указанных объектов, распределенную в Интернет.

Для создания единого НОП организации, имеющей распределенную корпоративно-кампусную структуру, необходимо наличие сетевой интегрированной инфраструктуры. На базе современных цифровых технологий пользователям НОП предоставляются следующие возможности:

- Поддержка мультимедийных дополнений (голос, видео).

- Поддержка широкополосных дополнений (голосовые конференции, видео-конференции, системы видеонаблюдения).

- Увеличение емкости полосы пропускания для сетей, уже развернутых на базе традиционных технологий *Ethernet* или *FDDI*.

- Поддержка любых новых программ, которые могут внедряться в кампусе, независимо от специфики используемых сетевых протоколов.

- Объединение пользователей и подразделений по территориальным признакам в отдельные локальные подсети.

- Объединение пользователей с общими интересами (отдел, группа, служба), которые территориально расположены в разных частях кампуса, в единственную виртуальную команду (виртуальную локальную сеть) и контроль доступа к информации, с которой работает группа.

- Создание специализированных информационных центров, в которых происходит обработка и хранение данных, необходимых разным группам пользователей. Доступ к таким общим информационным ресурсам должен быть одинаково легким из любой точки кампуса.

- Простой механизм подключения к единственной ТИ новых корпусов (зданий), что не требует перестройки существующей сетевой структуры. Высокая производительность и масштабируемость сетевой инфраструктуры, обеспечивающая растущие потребности пользователей в доступной полосе пропускания каналов связи.

- Оперативное возобновление работоспособности сети при сбое.

- Сравнительно невысокая цена инсталляции и обслуживания сети при высокой надежности ее функционирования.

Правильно построенная ТИ НОП представляет собой иерархический структуру, состоящую из трех уровней [7]:

- магистральный уровень (*Core*);
- уровень распределения (*Distribution*);
- уровень доступа (*Access*).

Приведенный подход к описанию сети, предоставляет дополнительные возможности:

- выбора оборудования;
- определения конфигурации подсетей;

- наиболее точное формулирование функциональных потребностей конкретной сетевой структуры.

Магистральный уровень (ядро сети). Ядро – центральный элемент сети всего предприятия – составляют основные магистральные каналы связи. Оборудование ядра сети обладает следующими характеристиками:

- высокая надежность, достигаемая, в частности, за счет избыточности и толерантности к сбоям;

- способность адаптироваться к изменениям в сетевой среде;

- малая задержка при передаче данных;

- хорошая управляемость и предсказуемая производительность.

Уровень распределения. На этом уровне решается задание доступа в разные части сети и к разнообразным услугам. Здесь функционируют такие механизмы, как политика безопасности, политика доступа к информационным ресурсам, управление качеством предоставляемых услуг, разных сред передачи данных, маршрутизация между логическими сегментами сети, определения мультимедийных доменов и др.

Уровень доступа. Обеспечивается доступ к корпоративным ресурсам для рабочих групп и сетевых сегментов. В локальных сетях уровень доступа характеризуется коммутированным или распределенным доступом пользователей к среде передачи данных.

Очевидно, что будущее локальных сетей [7] связано с разными вариантами технологии *Ethernet* (собственно *Gigabit Ethernet* и *10Gigabit Ethernet*). Эта технология фактически является стандартом при построении кампусных сетей. Технология *Ethernet* обеспечивает:

- эффективный высокоскоростной обмен данными;

- невысокую стоимость сетевого решения;

- простую практическую реализацию;

- совместимость со всеми распространенными типами дополнений, включая мультисервисные.

Говоря об управлении ТИ НОП, определим основные задания, выполняемые современными программно-техническими средствами:

- отслеживание сбоев в управляемых компьютерах и устройствах, определение и устранение их причин (автоматизированное), исправления их последствий и предотвращения сбоев (например, путем выполнения диагностических операций);

- управление конфигурацией компьютеров и сетевых устройств (в частности, инициализация, переконфигурация и выключение управляемых сетевых устройств и компьютеров);

- управление потреблением сетевых ресурсов пользователями и группами пользователей (например, регуляция дисковых или других квот);

- управление производительностью сетевых устройств и сервисов (с помощью сбора и анализа статистики интенсивности применения и частоты ошибок сетевых устройств и искусственной установки уровня их производительности на основе полученных данных);

- управление защитой данных с помощью контроля доступа к сетевым ресурсам на основе заранее установленной политики безопасности и сообщение администратора о попытках ее нарушения.

Программно-технический комплекс БКТУ узла представляет собой пример средств управления, адаптированного для кампусных и корпоративных ТИ НОП. Логическую модель архитектуры БКТУ рассмотрим на рис. 1.

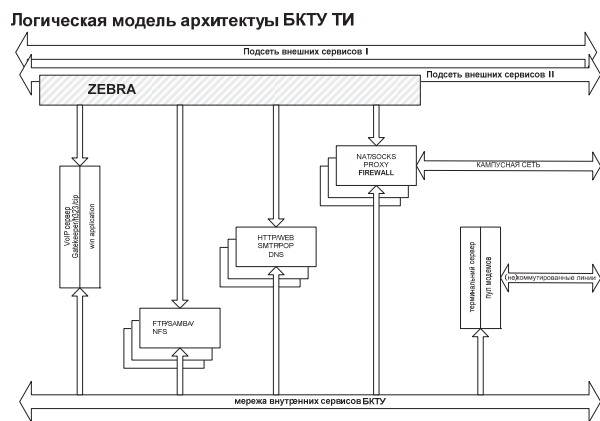


Рис. 1. Логическая модель архитектуры БКТУ ТИ

На комплексе БКТУ рекомендовано к инсталляции программное обеспечение, базирующееся на ядре операционной системы *FreeBSD* и

включающее в себя также ряд программных продуктов с открытым исходным кодом.

Отметим, что определение и согласование составляющих ТИ предоставляет возможность дальнейшей формализации и составления имитационных моделей, что позволит наладить пути к оптимизации существующей ТИ.

ТИ предназначена для предоставления телекоммуникационных, информационных и вычислительных услуг определенного качества сетевым абонентам заведения путем обеспечения объединения персональных компьютерных рабочих станций (ПКРС) и подсетей в интегрированное сетевое пространство, предоставляющее возможности:

- комплексного управления, формирования и выполнения текущих производственных заданий из любой санкционированной точки КС или Интернет с помощью стандартных сетевых технологий связи ПКРС между собой, с научными, учебными сетями и с глобальной сетью Интернет;

- доступа к вычислительным, справочным и другим информационным ресурсам, интеллектуальным службам и сервисам общего использования внешних сетей, в том числе ресурсов сети Интернет;

- распределение доступа к вычислительным, справочным и другим информационным ресурсам, интеллектуальным службам и сервисам общего пользования, которые находятся в составе ТИ и санкционированным пользователям сети Интернет.

Сетевыми абонентами будем считать:

- ПКРС (АРМи) отдельных пользователей, которые непосредственно подключены к КС ТИ;
- серверы, обеспечивающие подключение подсетей;

- устройства, которые в автономном или управляемом режиме выполняют функции поддержки других абонентов или участков КС.

Согласованно с уровнями иерархии ТИ НОП определим *базовые элементы ТИ*:

- программно-технический комплекс БКТУ, включающий серверные станции и коммутационное оборудование;

- опорно-контрольная сеть – сетевые контрольные экраны и телекоммуникационная структура, которая поддерживается программно-техническим комплексом БКТУ;

- абонентская сеть – телекоммуникационная структура, соединяющая ПКРС отдельных абонентов и серверы подключения локальных сетей подразделений-абонентов с опорно-контрольной сетью.

Сосредоточение функциональной нагрузки учебно-технологической среды НОП на одной серверной станции, с одной стороны, решает важнейшую задачу централизации управления ресурсами внешних каналов и абонентской сетью, которая по существу является прообразом текущего состояния базового компьютерного телекоммуникационного узла (БКТУ), с другой стороны, определяет целый ряд заданий, связанных с координацией БКТУ и ТИ НОП в целом. Логическая модель ТИ НОП представлена на рис. 2.

Ниже уточним ступенчатую проблематику [8, 9], обусловленную стартовой тенденцией сосредоточения функциональной нагрузки в пределах одной станции [10].

1. Поддерживая некоторое множество сервисных функций $S_j: \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ доступность которых зависит от:

- параметров согласования программных продуктов $p_k: \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$;

- параметров и загруженности каналов связи $c_l: \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$;

- аппаратных системных ресурсов $r_i: \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$, ограниченных потенциальными возможностями данной компьютерной станции.

Тогда функция $W = F(S, p, r)$ такая, что характеризует общее положение серверной станции с набором каналов связи.

В ситуации, когда $\sum_{j=1}^n r_{i,j} > r_i$ – т.е. в какой-

то момент времени исчерпывается системный ресурс, серверная станция перестает обеспечивать абонентов или тем сервисом, который вызвал превышение ресурса, или полным или выборочным набором сервисов, в зависимости от типа исчерпанного ресурса [10].

2. Взаимосвязь ряда сервисов, в ситуации отказа одного из них, влечет за собой отказ в обслуживании абонентов полным или выборочным набором сервисов, в зависимости от набора остановленных сервисов [10].

В ситуации, когда значение состояний параметров совокупности $\{S, p, r\}$ отклоняются от значений соответствующего состояния системы, при котором обслуживание абонентов осуществляется в удовлетворительном режиме, страдает практически вся структура в целом.

Предусматривалось, что при некоторых значениях $\{S, p, r\}$ функция W_j отвечает удовлетворительному состоянию серверной станции. Тогда возникают задания:

- выявление стабильного диапазона функции W_j ;
- изучение динамики изменения функции W_j и прогнозирования ее выхода из стабильного диапазона.

Для оценки функции $W_j = F\{S, p, r\}$ и выявлению ее

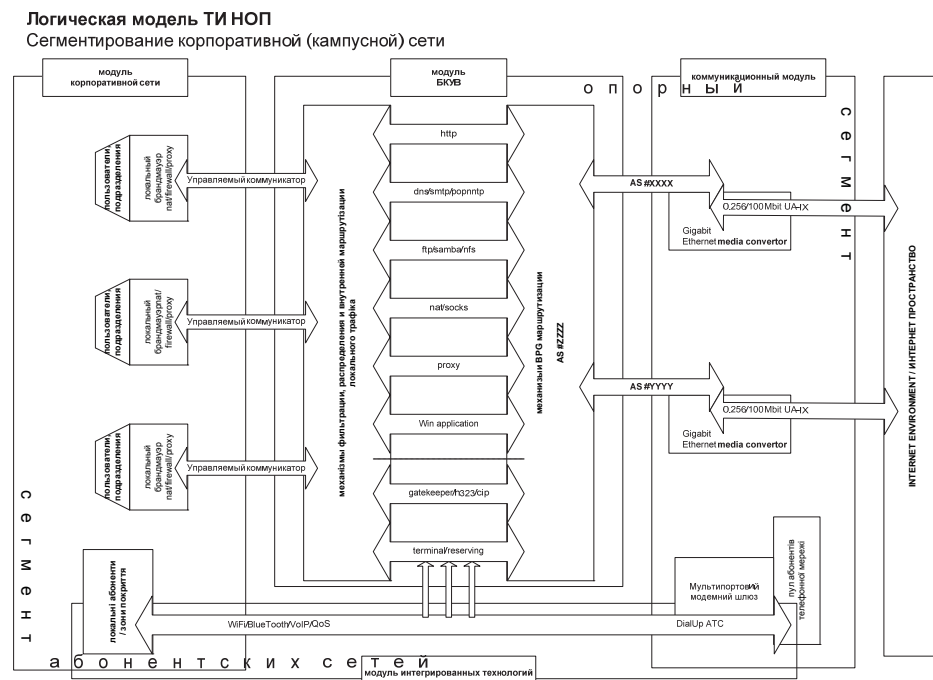


Рис. 2. Логическая модель ТИ НОП

стабильного диапазона нужно ввести количественные характеристики величин $\{S, p, r\}$, уточнив их суть.

Характеристики $r_i: \{r_1, r_2, \dots, r_i\}$ являются множеством компонентов, составляющих физическую основу аппаратной платформы i -й станции и их оценки:

- процессора – частоты, кэша, производительности;
- системной платы (разрядности шины, чип-сета, ...);
- оперативной памяти (объема, частоты, архитектуры, ...);
- стационарной памяти (объема, скорости доступа, ...);
- сетевых интерфейсов (скорости внешних портов, ...) и др.

Характеристики $c_i: \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – огромное количество каналов связи i -й станции и их параметры:

- количество основных каналов;
- общее количество каналов;
- пропускная способность и др.

Характеристики $p_k: \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ являются множеством компонентов, формирующих программный комплекс поддержки i -й станции и их оценки:

- тип операционной системы (коэффициент производительности, критичность к определенному набору дополнений, их количества, «мощности»);
- набор программных продуктов, которые обеспечивают необходимый сервис (коэффициент эффективности, задержка обработки запросов, загрузки ОС, загрузки аппаратных ресурсов, тип платформы поддержки).

Введя указанные параметры, можно определить функцию W_j и для прогнозирования поведения серверной станции сравнивать значение W_j в определенные моменты времени, тогда:

величина $\Delta W_j / \Delta t$ – покажет скорость отклонения функции от некоторого базового состояния (при отсутствии обработки запросов);

величины $\frac{\Delta W_j}{\Delta p}$, $\frac{\Delta W_j}{\Delta c}$, $\frac{\Delta W_j}{\Delta r}$ – будут характеризовать скорость отклонения функции

от базового состояния по соответствующим параметрам.

3. При указанной формализации возникает задание расчета оптимальной информационной нагрузки на серверные станции [10]: серверная станция S , поддерживающая n сетевых процессов P_n , использует ресурсы $R_i: \{r_1, r_2, \dots, r_i\} \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$.

Для использования процесса P_j одним клиентом в единицу времени тратится $f_n(r_{ni})$ ресурсов R_1 , a_{2j} ресурсов R_2 , ..., a_{mj} ресурсов R_m . Расходы ресурса R_i в поддержку процесса P_j : $a_{ij} f(r_{1i}, c_{1i})$.

Каждый объем ресурсов потребляет клиент $K \ i = \overline{1, m} \ j = \overline{1, n}$.

Допуская, что вектор $X^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$ определяет сколько и каких процессов использует k -й клиент.

В поддержку первого процесса идет $\sum_{i=1}^m a_{i1} \cdot x_1^k + \sum_{i=1}^m a_{i2} \cdot x_2^k + \dots + \sum_{i=1}^m a_{in} \cdot x_n^k = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot x_j^k$.

Количество i -го ресурса, которое потребляется k -м клиентом:

$$a_{i1} \cdot x_1^k + a_{i2} \cdot x_2^k + \dots + a_{in} \cdot x_n^k = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j^k.$$

Причем $\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j^k \leq b_i$. По вектору X можно определить комбинации, которые приводят к предельному расходованию ресурса R_i а также построить область определения клиента.

Таким образом, в данном представлении вопрос качественной доставки сервиса k -му клиенту становится эквивалентным расчету комбинаций, достаточных для того, чтобы клиент принадлежал области определения при заданных ограничениях.

4. На основании вышесказанного, проблемы администрирования, взаимосвязанных сервисов, заданий обеспечения безопасности возникает задание синтеза архитектуры и оптимального размещения набора сервисов телекоммуникационного комплекса на основании резервирования количества или мощности серверных станций и каналов связи при ограничениях на стоимость комплекса [10].

Формально данное задание может сводиться к построению графа [9], вершинами которого есть серверные станции, владеющие определенными свойствами (потенциалом) $R_i: \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$ из множества инцидентных ребер $c_l: \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, что отображают наличие каналов связи каждой из вершин, при ограничениях стоимости всей системы и других аналогичных заданий.

Практически решение этой задачи было предложено, исходя из истории развития телекоммуникационного комплекса, практического опыта системных администраторов и технических средств, имеющихся в наличии, а результат выбирался на основании предыдущей оценки эффективности телекоммуникационной структуры.

5. Существует еще одна проблема – общей оценки производительности мультисервисной телекоммуникационной структуры [10]. Такая оценка может проводиться по разным критериям, например:

- по суммарному информационному потоку всех сервисов;
- по информационному потоку сервисов с наибольшим приоритетом;
- по количеству одновременно обслуживаемых абонентов;
- по качеству обслуживания абонентов.

Для большинства из указанных пяти заданий трудно сложить чисто аналитическое решение, потому для практического их решения возможно применение моделей, полученных на основе анализа статистических данных.

Рассматривая задание формирования архитектуры телекоммуникационного комплекса (ТК), исходим из анализа готового набора функциональных схем, удовлетворяющих основному критерию и обеспечивающих определенное количество абонентов набором сервисных функций $S_i: \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$.

На практике может существовать несколько вариантов структур, имеющих одинаковый сервисный потенциал, но которые отличаются системной базой, аппаратными решениями, внутренним взаимодействием, каналами связи. С точки зрения проектировщика, кроме общей

стоимости, такие структуры могут существенно отличаться производительностью, надежностью, способами администрирования, функциональным потенциалом. Таким образом, возникают задания:

- оценивание ТК по количественным показателям;
- сравнение полученных оценок.

Говоря о количественном оценивании уточним и дополним формулировку параметров ТК. Для оптимального размещения набора сервисов телекоммуникационного комплекса на основании резервирования количества или мощности серверных станций и каналов связи при ограничениях на стоимость разработчик должен учитывать ряд объективных условий, которые являются предельными параметрами функционирования ТК:

- согласование программных продуктов $p_k: \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, поддерживающих необходимый набор сервисов;
- загруженность каналов связи $c_l: \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$;
- аппаратные системные ресурсы $r_i: \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$ ограниченные потенциальными возможностями данной компьютерной станции;
- достаточные уровни безопасности $b_k: \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$;
- степень сложности администрирования определенного сервиса $d_k: \{d_1, d_2, \dots, b_m\}$.

Формулируя задание оптимизации, как минимизацию некоторой функции $W_j = F\{S, p, c, r, b, d\}$, характеризующей состояние j -й структуры при соответствующих ограничениях переменных, получаем решения для соответствующего ТК, которые, по крайней мере, на практике оказываются допустимыми, поскольку точная алгоритмическая формализация данного задания не разрешима в связи с нечеткостью оценок производительности практически каждой из переменных компонент. По этой же причине практически не нормализуется алгоритмическое задание синтеза архитектуры ТК.

В этом случае предлагается создание моделей ТК, которые обладают следующими качествами:

- есть допустимыми для искомого ТК;
- позволяют оценивать изменение производительности ТК в зависимости от изменения значений параметров (функции W_j).

Предлагаются следующие параметры, для относительной оценки характеристик искомых моделей и соответствующих им структур ТК:

- максимальное число абонентов a_j , удовлетворительно одновременно обслуживаемых ТК (значения параметров функции W_j , которые не являются необходимыми условиями функционирования ТК);

- стоимость ресурсов r_i , ограниченных потенциальными возможностями данной компьютерной станции

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m a_j \cdot x_j^k;$$

- уровень системы безопасности ТК;
- степень сложности администрирования определенного сервиса (максимальная из необходимых оценок по соответствующим сервисам с дополнением недостающих требований по всем сервисам – объединение критериев).

Возможно, что отклонение относительных оценок для сравниваемых моделей окажется разнополярным, тогда соответствующие ТК будут допустимыми по соответствующим оценкам. В любом случае, такой подход позволяет соотнести разнотипную архитектуру ТК, выполняющую одинаковый набор сервисов. Однако, как уже говорилось, при построении соответствующих моделей возникает ряд сложностей, обусловленных невозможностью строго аналитической формализации данных заданий. В этом случае придется применять эвристические методы оценки поведения параметров функции W_j на основе анализа статистических данных, при изменении нагрузки на ТК.

Заключение. Поскольку построение точной копии ТК для изучения ее свойств и поведения чаще всего невозможно, то целесообразно использование имитаторов нагрузки на готовых структурах. Такие имитаторы организуются в предназначенном для пользователя сегменте ТК и генерируют необходимую нагрузку на определенную структуру, включая как локальные, так и сквозные запросы. При этом для

мониторинга параметров функции W_j используются стандартные наборы программного обеспечения, позволяющие оценить состояние соответствующих параметров. Собственно, процесс обучения модели ТК заключается в выводе и уточнении функции W_j . Начальный этап – формирование характеристических таблиц состояния параметров в зависимости от нагрузки, с фиксацией определенных характеристик, ресурсов и т.д. Следующий этап – аппроксимация полученных данных к соответствующим функциям, используемым в дальнейшем для анализа и прогнозирования поведения реальных ТК в существующих ТИ НОП.

1. *Компьютерные технологии обучения: Словарь-справочник* / Под ред. В.И. Гриценко, А.М. Довгялло. – К.: Наук. думка, 1992. – 784 с.
2. *Гриценко В.И., Урсаев А.А.* Информационные технологии – тенденция, пути развития // УСиМ. – 2011. – № 5. – С. 3–20.
3. *Управління якістю та забезпечення якості.* Терміни та визначення: ДСТУ ISO 3230 – Чинний 1996-07-01. – К.: Держстандарт, 1996. – 29 с.
4. *Системи управління якістю.* Вимоги: ДСТУ ISO 9001-2001 (ISO 9001: 2000, IDT). – Чинний 2001-10-01. – К.: Держстандарт, 2001. – 23 с.
5. *Манак А.Ф., Синица Е.М.* Массовость и непрерывность как ключевые факторы развития электронного научно-образовательного пространства для всех // *Proc. Fifth Intern. Conf. ITEA-2010.* 23–24 Nov. 2010. – Kiev, IRTC. – P. 23–33.
6. *Манак А.Ф., Синица Е.М.* Современные научно-образовательные пространства: технологии и подходы // *Proc. 1-st Intern. Conf. ITEA-2006.* 29–31 May 2006. – Kiev, IRTC. – P. 37–51.
7. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2007. – 992 с.
8. *Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Кільчицький Є.В.* Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. – К.: Техніка, 2004. – 221 с.
9. *Романов А.И.* Телекоммуникационные сети и управление. КНУТШ – К.: Киевский ун-т, 2003 – 247 с.
10. *Антонюк Я.М., Ашаери Х.Р., Джуваго М.Ю.* Методи оптимізації серверних компонентів та планування каналів зв'язку комунікаційних вузлів академічних закладів // *Матеріали IV міжнар. конф. «Сучасні тенденції розвитку вищої освіти, трансформація навчального процесу у технологію навчання»* – Киев–2008, ДУІКТ, жовт. 2008 р. – С. 46–51.

Поступила 05.02.2012
Тел. для справок: (044) 502-6357 (Киев)
© Я.М. Антонюк, 2012