

УДК 37:004.4

**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ****Головня О.С.****Інститут інформаційних технологій та засобів навчання НАПН України**

*У статті пропонується узагальнений варіант систематизації технологій віртуалізації, складений на основі ряду варіантів, покликаний виявити співвідношення між великою кількістю наявних термінів, нерідко синонімічних, і може бути використаний у науковому пошуку в галузі віртуалізації та у процесі підготовки методичного забезпечення для бакалаврів інформатики.*

**Ключові слова:** віртуалізація; технології віртуалізації; систематизація; методи віртуалізації; напрями віртуалізації.

Переживши своє нове народження у кінці 90-х років ХХ ст., технології віртуалізації й донині лишаються предметом підвищеного інтересу в галузі інформатики. Знайомство з технологіями віртуалізації необхідне обізнаному фахівцю з інформаційних технологій, а отже, є важливою частиною підготовки бакалаврів інформатики.

Вивченням віртуалізації займалися О. К. Гультяєв, М. Т. Джонс, Н. З. Єлманова, Я. Метліс, С. О. Пахомов, О. Поляков, П. А. Рахман, Б. Сан, А. Сінгх, Е. Таненбаум, В. М. Франчук, Л. Черняк та ін.

Нині термін "віртуалізація" активно використовується у багатьох областях знань, зокрема в інформатиці (віртуальні машини, віртуальні середовища); філософії, політології, психології, соціології (віртуалізація суспільства); економіці (віртуалізація товарів та послуг); педагогіці тощо. Щодо віртуалізації у педагогіці зазначимо, що вона може передбачати як віртуалізацію в інформатиці (її використання з освітньою метою), так і окреме, власне педагогічне тлумачення віртуалізації (віртуальні навчальні середовища, віртуальні класи, віртуальні предметні спільноти та ін.). Перше тлумачення зустрічаємо в О. Я. Анопрієнка, В. Ю. Бикова, Н. Ю. Корольової, В. С. Миргорода, В. В. Огурцова, К. В. Пономарьової, К. М. Сафронова, Т. М. Терещенка, Ш. Н. Усманова, С. М. Яшанова [1] та ін. Друге тлумачення має місце у працях В. Ю. Бикова, М. П. Лещенко, С. Г. Литвинової [2] та ін. Далі у цій статті йтиметься про віртуалізацію в інформатиці.

Незважаючи на актуальність технологій віртуалізації та значну увагу до них, спостерігаємо відсутність єдиного загальноприйнятого підходу до систематизації цих технологій. Розглянувши ряд варіантів систематизації технологій віртуалізації, ми змушені констатувати значну розрізненість цих варіантів, вживання, з одного боку, великої кількості синонімічних термінів (наприклад, "віртуальні контейнери" – "віртуалізація рівня операційної системи"), а з іншого, співзвучних, але відмінних за значенням термінів (наприклад, "повна емуляція" – "повна віртуалізація"). Така надмірна різноманітність суттєво утруднює орієнтування у матеріалах з цієї тематики.

Тому метою дослідження є вироблення на основі розглянутих варіантів систематизації узагальненого варіанту, що дав би змогу виявити співвідношення між численними термінами, що вживаються в різних джерелах.

Проаналізувавши низку трактувань поняття віртуалізації, ми виділили три головні риси віртуалізації. Отже, віртуалізація передбачає:

(1) поділ ресурсів одного фізичного комп'ютера на декілька взаємно незалежних віртуальних середовищ або, навпаки, об'єднання ресурсів кількох фізичних комп'ютерів в одне віртуальне середовище;

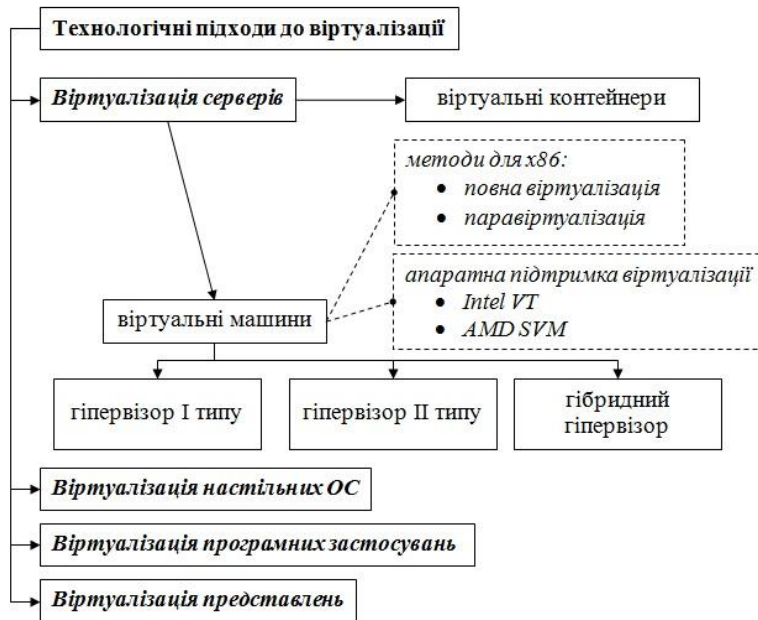
(2) оперативність переходу з одного віртуального середовища в інше;

(3) приховування реальних фізичних ресурсів та заміна їх абстракціями.

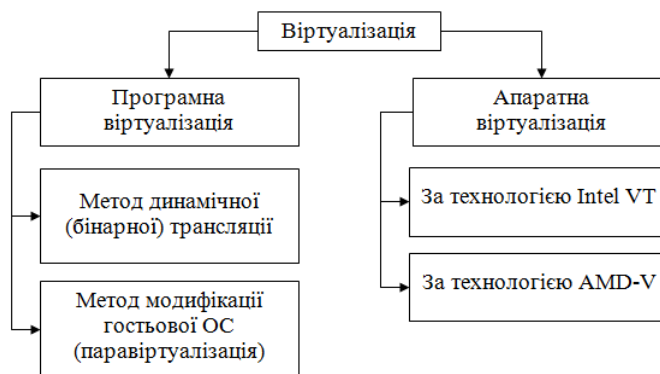
Під час створення узагальненої систематизації технологій віртуалізації за основу було взято підходи Е. Таненбаума [3], періодичного видання PC Magazine [4], Н. З. Єлманової та С. О. Пахомова [5], Я. Метліса [6], Б. Сана [7], О. К. Гультьєва [8], М. Т. Джонса [9]. Схематичні подання кожного з цих підходів наведено на мал. 1-7.



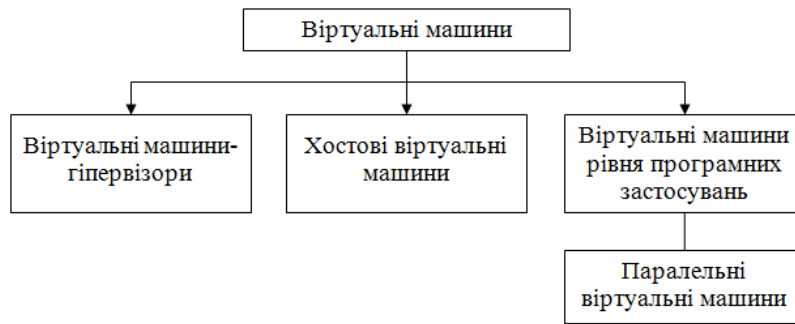
Мал. 1. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом Е. Таненбаума



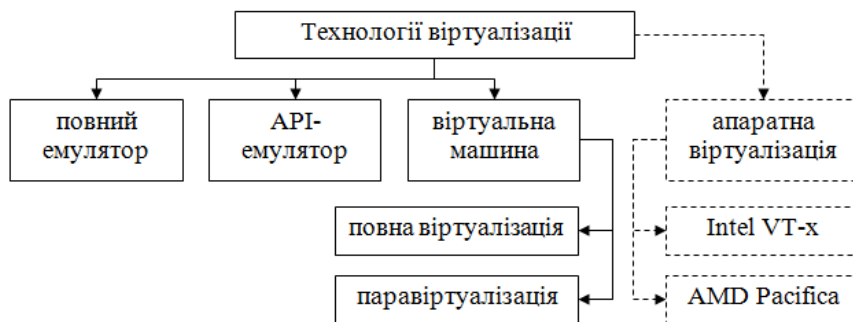
Мал. 2. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом журналу PC Magazine



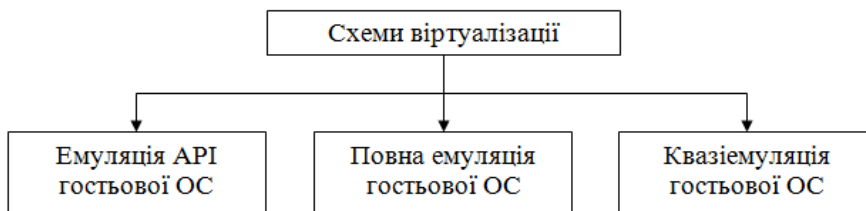
Мал. 3. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом Н. З. Єлманової та С. О. Пахомова



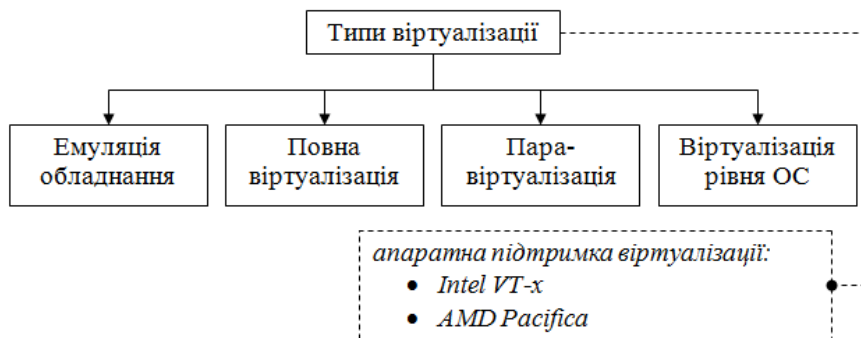
Мал. 4. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом Я. Метліса



Мал. 5. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом Б. Сана



Мал. 6. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом О. К. Гультяєва



Мал. 7. Систематизація технологій віртуалізації: складено за підходом М. Т. Джонса

У процесі опрацювання зазначених підходів було виявлено певні проблеми, вирішення яких уможливило виконати узагальнену систематизацію технологій віртуалізації: - як коректно пов'язати такі сутності, як віртуальні машини, віртуальні контейнери з методами їх реалізації (динамічна трансляція, паравіртуалізація та ін.)? У більшості

варіантів систематизації вони або взагалі не фігурують разом, або зв'язок між ними є не до кінця визначеним;

- як називати одиниці систематизації? У підході Б. Сана фігурують *технології віртуалізації*, у підході О. К. Гультьєва – *схеми віртуалізації*, у М. Т. Джонса – *типи віртуалізації*, у журналі PC Magazine – *технологічні підходи до віртуалізації*, тимчасом як у решті опрацьованих джерел йдеться просто про *віртуалізацію* [3], [5] або про *віртуальні машини* [6];

- як співвідносяться співзвучні терміни "повна емуляція" та "повна віртуалізація"? Разом ці терміни зустрічаються лише у систематизації Б. Сана, проте тут вони подані як методи реалізації віртуальних машин, тимчасом як повний емулятор та АРІ-емюлятор розглядаються окремо від віртуальних машин;

- які з термінів, вжитих у різних джерелах, є синонімічними?

Після детальнішого аналізу пропонуються такі вирішення наведених вище проблем.

Щоб коректно пов'язати віртуальні машини та віртуальні контейнери з методами їх реалізації, нами виділено не один, а два основні критерії для здійснення систематизації. Перший критерій – напрям віртуалізації (*що віртуалізуємо?*), другий критерій – метод віртуалізації (*як віртуалізуємо?*).

Таким чином, матимемо *дві одиниці систематизації*: напрями віртуалізації та методи віртуалізації.

*Повна віртуалізація* є синонімом динамічної трансляції та бінарної трансляції, тимчасом як *повна емуляція* [7] передбачає емуляцію всього апаратного забезпечення, включаючи процесор, і є синонімом *емуляції обладнання* [9].

Серед інших синонімів зазначимо такі:

- віртуальні машини-гіпервізори [6] – гіпервізори I типу [3], [4], автономні гіпервізори, тонкі гіпервізори, "виконувані на голому залізі" гіпервізори [4];
- хостові віртуальні машини [6] – гіпервізори II типу [3], [4], хостові гіпервізори, монітори віртуальних машин [4];
- технологія Intel VT [3], [4], [5] – технологія Intel VT-x [7], [9];
- технологія AMD SVM [3], [4] – технологія AMD-V [5], AMD Pacifica [7], [9];
- віртуальні контейнери [4] – віртуалізація рівня операційної системи (ОС) [9].

Розглянемо детальніше пропоновану узагальнену систематизацію технологій віртуалізації.

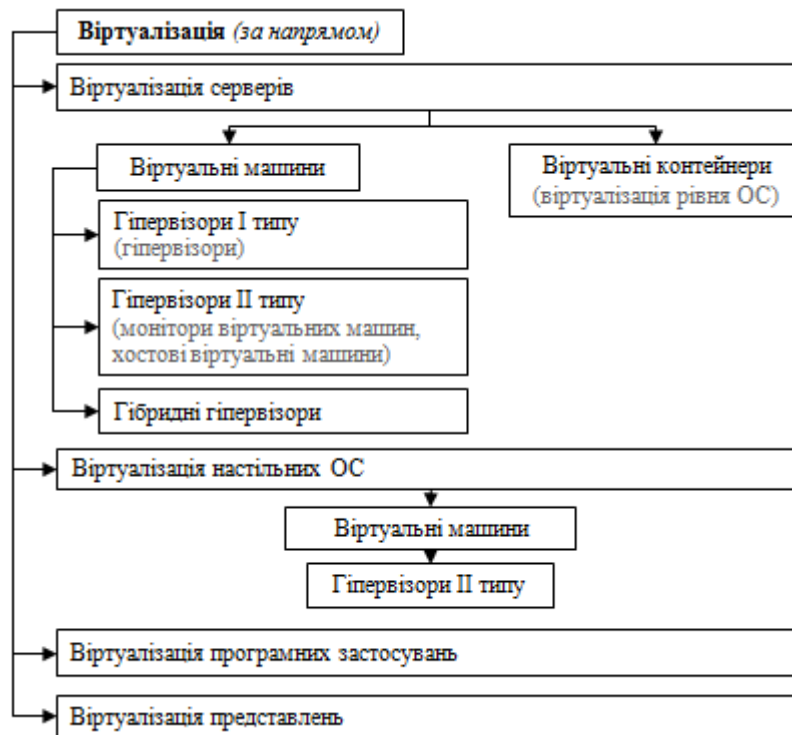
### **Систематизація технологій віртуалізації за напрямом**

За напрямом віртуалізації розрізнятимемо віртуалізацію серверів, віртуалізацію настільних операційних систем, віртуалізацію програмних застосувань та віртуалізацію подань (подань або презентацій?) (мал. 8). Причому **віртуалізація серверів** (англ. server virtualization) може здійснюватися за допомогою віртуальних машин або віртуальних контейнерів.

**Віртуальні контейнери**, як уже згадувалося, є іншою назвою віртуалізації рівня ОС (англ. operating system-level virtualization). Віртуальними середовищами у цьому випадку є контейнери, котрі є відносно незалежними, однак спільно використовують єдине ядро ОС. Це зокрема означає, що неможливо мати в одному контейнері одну ОС, а в іншому – іншу. Проте, завдяки роботі з єдиним ядром, контейнерам притаманна вища швидкодія, ніж віртуальним машинам. Прикладами реалізації підходу віртуальних контейнерів є Parallels Virtuozzo, Sun Solaris Containers, Linux-VServer, OpenVZ.

Кожна **віртуальна машина**, на відміну від віртуального контейнера, працює з окремою ОС, а тому операційні системи на віртуальних машинах можуть бути різними. Операційна система, встановлена на віртуальну машину, називається **гостьовою операційною системою** [3]. Віртуальна машина може працювати на базі гіпервізора I типу, гіпервізора II типу або гібридного гіпервізора. Гіпервізор I типу виконується "на голому залізі", тобто не має під собою жодної ОС. Гіпервізор II типу, навпаки, встановлюється на так звану **основну ОС** [3]. Гібридний гіпервізор поєднує риси гіпервізорів I та II типів [4]. В

якості прикладів гіпервізорів I типу назвемо VMware ESX, гіпервізорів II типу – Oracle VirtualBox, VMware Workstation, гібридних гіпервізорів – Microsoft Hyper-V, Citrix Xen Server, Oracle VM, Sun Logical Domains Hypervisor.



Мал. 8. Узагальнена систематизація технологій віртуалізації:  
(за напрямом)

**Віртуалізація настільних ОС** (англ. desktop virtualization) здійснюється здебільшого на базі гіпервізорів II типу [4].

**Віртуалізація програмних застосунків** (англ. application virtualization) передбачає створення віртуального середовища для кожного екземпляра програми [4]. Така технологія застосовується зокрема у Microsoft Application Virtualization, VMware ThinInstall, Symantec/Altiris Virtualization, Novell ZENworks Application Virtualization.

**Віртуалізація подань** (англ. presentation virtualization) спрямована на надання термінального доступу. У випадку віртуалізації представлень об'єктом віртуалізації є інтерфейс користувача: користувач взаємодіє з системою за допомогою віртуального інтерфейсу, однак насправді процеси користувача виконуються віддалено, на сервері [4]. Віртуалізацію представлень реалізовано, зокрема, у Citrix XenApp, Microsoft Windows Terminal Services, NComputing vSpace.

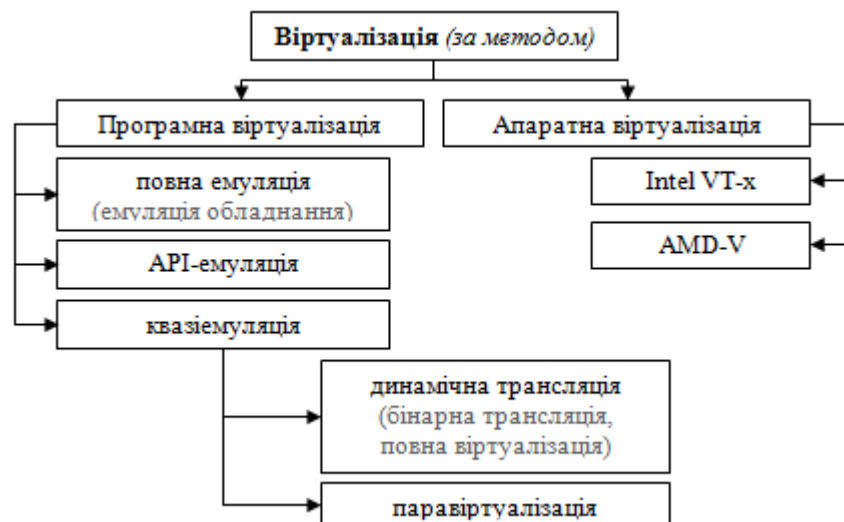
#### Систематизація технологій віртуалізації за методом

З іншого боку, за методом віртуалізації виокремимо програмну та апаратну віртуалізацію (мал. 9).

**Апаратна віртуалізація** (англ. hardware assisted virtualization або hardware based virtualization) виконується на основі двох основних технологій: Intel VT-x та AMD-V. Технологія Intel VT-x втілена у процесорах Intel Core 2, а технологія AMD-V – у процесорах AMD Pacifica. Ці дві технології суттєво відрізняються між собою, проте використовують спільну ідею: створення контейнерів для віртуальних машин на апаратному рівні [3].

Однак апаратна віртуалізація для платформи x86 з'явилася порівняно нещодавно – у 2004-2005 рр. [4]. Доти віртуалізація цієї платформи тривалий час була проблемою, оскільки ряд інструкцій (*службові інструкції*) процесора не піддавався віртуалізації. Щоправда, існували емулятори для Pentium, але низька швидкість роботи не дозволяла їм стати універсальним рішенням. Ситуація змінилася у 90-х роках XX ст. завдяки ряду проєктів, а

надто проекту DISCO. Величезний вклад у становленні віртуалізації архітектури x86 здійснила компанія VMware [3]. Нижче йтиметься про цю та інші технології віртуалізації без відповідної підтримки з боку процесора – програмну віртуалізацію.



Мал. 9. Узагальнена систематизація технологій віртуалізації:  
(за методом)

**Програмну віртуалізацію** (англ. software virtualization) поділимо на повну емуляцію, API-емуляцію та квазіемуляцію.

У випадку **повної емуляції** (англ. pure emulator) програмно емулюється все апаратне забезпечення, включаючи процесор. Як уже зазначалося вище, продуктивність такої технології є невисокою, проте, з іншого боку, повна емуляція дозволяє зімітувати комп'ютер однієї архітектури на комп'ютері іншої архітектури. Прикладом реалізації повного емулятора є проекти Vochs, QEMU.

**API-емуляція** (англ. API emulator) дозволяє програмі, скомпільованій під одну ОС, працювати під управлінням іншої ОС. Це можливо завдяки перехопленню API-викликів програми та їх емуляції за допомогою API-викликів поточної ОС. Ілюстрацією описаного підходу є проект WINE, що дає змогу запускати Windows-програми в ОС Linux. Продуктивність API-емюлятора вища за продуктивність повного емулятора, натомість API-емюлятори мають низьку портативність, оскільки розробка API-емюлятора для конкретної операційної системи суттєво ускладнюється необхідністю врахування великої кількості деталей.

У випадку підходу **квазіемуляції** (англ. quasi-emulation) для реалізації всього віртуального апаратного забезпечення, крім процесора, застосовується технологія повної емуляції. Натомість віртуалізація процесора передбачає поєднання прямого виконання та емуляції. Більшість інструкцій виконуються звичайним чином (пряме виконання), а невелика підмножина проблемних інструкцій перехоплюється й емулюється.

Квазіемуляція може бути реалізована методом динамічної трансляції та методом паравіртуалізації.

За **динамічної трансляції** (англ. dynamic translation; бінарна трансляція – англ. binary translation; повна віртуалізація – англ. full virtualization) службові інструкції перехоплюються гіпервізором і замінюються новими послідовностями інструкцій, що виконують аналогічну дію з віртуальним апаратним забезпеченням. Гіпервізор транслює службові інструкції динамічно (звідки й походить назва підходу), а результати трансляції кешує для повторного використання [11]. За технологією динамічної трансляції реалізовано, зокрема, продукти компанії VMware та системи сімейства z/VM.

Тимчасом як динамічна трансляція не передбачає внесення змін до гостьової ОС, технологія **паравіртуалізації** (англ. paravirtualization), навпаки, ґрунтується на модифікації

коду гостьової ОС. У такому разі виклики службових команд замінюються на виклики гіпервізора. Гіпервізор, у свою чергу, надає інтерфейс для перехоплення та обробки таких викликів. Прикладами застосування технології паравіртуалізації є Xen, UML (User-Mode Linux).

Таким чином, на основі розгляду наявних варіантів систематизації побудовано узагальнену систематизацію. Запропонована систематизація виявляє співвідношення між термінами, що вживаються різними авторами. Вона може бути використана у науковому пошуку в галузі віртуалізації, а також у процесі підготовки методичного забезпечення для таких дисциплін, як "Операційні системи", "Операційні системи та системне програмування" та ін.

Серед напрямів подальших досліджень передусім зазначимо наступні:

- вивчення віртуалізації у педагогічному тлумаченні (віртуальні початкові середовища, віртуальні класи тощо) та її зв'язків з віртуалізацією в інформатиці;
- дослідження психолого-педагогічних основ вивчення операційних систем, у тому числі їх віртуалізації, у підготовці фахівців з інформатики;
- аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду навчання операційних систем, у тому числі їх віртуалізації, у вищій школі;
- вивчення зв'язку між технологіями віртуалізації та технологіями хмарних обчислень, а також з'ясування місця хмарних обчислень у підготовці бакалаврів інформатики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яшанов С. М. Віртуальні машини в системі інформаційно-навчального середовища вищого закладу освіти / С. М. Яшанов / Інформаційні технології та засоби навчання. – 2010. – № 2 (16). – Режим доступу до статті: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt>. – 30.05.2012.
2. Литвинова С. Г. Віртуальний клас як комп'ютерно-орієнтоване навчальне середовище вчителя загальноосвітнього навчального закладу / С. Г. Литвинова // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2011. – № 2 (22). – Режим доступу до журналу: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt>. – 03.06.2012.
3. Таненбаум Э. Современные операционные системы / Эндрю Таненбаум; пер. с англ. Н. Вильчинский, А. Лашкевич. [3-е изд.]. – СПб.: Питер, 2010. – 1120 с. – (Классика computer science)
4. Виртуализация: технологические подходы // PC Magazine, 11.05.2009. – Режим доступа к статье: <http://www.pcmag.ru/solutions/detail.php?ID=34643>. – 10.02.2012.
5. Елманова Н. Виртуальные машины 2007 / Наталия Елманова, Сергей Пахомов // КомпьютерПресс. – 2007. – №9. – С. 29-42.
6. Matlis J. Quick Study: Virtual Machines / Jan Matlis // PC Magazine, April 24, 2006. – Access mode: [http://www.computerworld.com/s/article/110722/Virtual\\_Machines?taxonomyId=18&pageNumber=1](http://www.computerworld.com/s/article/110722/Virtual_Machines?taxonomyId=18&pageNumber=1).
7. Sun B. Software Virtualization Rootkits / Sun Bing // Blackhat Europe 2007 Briefings& Trainings materials. – March 27-30 2007, Amsterdam. – Access mode: <https://www.blackhat.com/presentations/bh-europe-07/Bing/Whitepaper/bh-eu-07-bing-WP.pdf>. – 09.02.2012.
8. Гультаев А. К. Виртуальные машины: несколько компьютеров в одном / Алексей Константинович Гультаев. – СПб.: Питер, 2006. – 224 с.
9. M. Tim Jones. Virtual Linux: An overview of virtualization methods, architects, and implementations // M. Tim Jones / IBM developerWorks: Technical library. – Access mode: <http://www.ibm.com/developerworks/library/l-linuxvirt/> – 9.02.2012.
10. Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist: VMware White Paper. – VMware Inc., 2007. – Access mode: [http://www.vmware.com/files/pdf/VMware\\_paravirtualization.pdf](http://www.vmware.com/files/pdf/VMware_paravirtualization.pdf). – 04.01.2012.