

УДК 37:004.4

Головня О.С.

Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України,
Київ, Україна**КРИТЕРІЇ ДОБОРУ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ
У НАВЧАННІ UNIX-ПОДІБНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

DOI: 10.14308/ite000548

Unix-подібні операційні системи втілюють у собі більшість базових принципів побудови сучасних операційних систем, й водночас вони зазвичай належать до вільно поширюваного програмного забезпечення. Це робить unix-подібні операційні системи однією з найважливіших платформ, а також сприяє їх активному використанню в освіті, у тому числі у підготовці бакалаврів інформатики.

У статті визначено критерії добору програмних засобів віртуалізації для наступного використання цих засобів у навчанні unix-подібних операційних систем під час підготовки бакалаврів інформатики. На основі запропонованих критеріїв здійснено порівняльний аналіз наявних технологій віртуалізації, зокрема гіпервізорів I, II типів та гібридних гіпервізорів, побудованих на базі динамічної трансляції, паравіртуалізації та поєднання цих методів, а також віртуальних контейнерів. Поряд із технологіями віртуалізації розглядаються й альтернативні їм варіантами навчання unix-подібних операційних систем, котрі не передбачають застосування віртуалізації (встановлення unix-подібної операційної системи як єдиної системи на комп'ютері та мультизавантаження). Відповідно до одержаних результатів, проведено порівняльний аналіз віртуалізаційного програмного забезпечення на основі попередньо вибраних технологій віртуалізації, причому як тих, що передбачають настільну роботу з віртуалізованою операційною системою, так і тих, що дають змогу віддаленого доступу до цієї системи у межах локальної чи глобальної комп'ютерної мережі.

Ключові слова: віртуалізація, програмні засоби віртуалізації, віртуалізаційне програмне забезпечення, unix-подібні операційні системи, бакалаври інформатики.

Unix-подібні операційні системи (unix-подібні ОС), зокрема ОС сімейства Linux, є однією з найважливіших лінійок ОС. Unix-подібні системи наочно ілюструють більшість важливих принципів побудови ОС, і, крім того, значна кількість таких систем є вільно поширюваними. Ці та інші фактори сприяють широкому розповсюдженню unix-подібних ОС у галузі освіти, й у тому числі – для підготовки бакалаврів за напрямом "Інформатика". Найгрунтовніше вивчення unix-подібних ОС студентами цього напрямку зазвичай передбачено в межах курсу "Операційні системи та системне програмування".

Оскільки у комп'ютерних лабораторіях вітчизняних закладів вищої освіти нерідко встановлено інші ОС (найчастіше ОС Windows) або є потреба паралельно використовувати інші ОС, то під час навчання unix-подібних ОС застосовують технології віртуалізації. Технології віртуалізації, зокрема, дають змогу одночасного використання різних ОС на одному комп'ютері без необхідності перезавантаження для переходу між цими системами. Застосування технологій віртуалізації вимагає спеціального програмного, а в ряді випадків також і апаратного забезпечення. Про відповідне апаратне забезпечення ще йтиметься далі у цій статті, однак головну роль відіграє саме програмне забезпечення, – **програмні засоби віртуалізації, або віртуалізаційне програмне забезпечення (віртуалізаційне ПЗ).**

Метою статті є формулювання критеріїв добору віртуалізаційного ПЗ для навчання бакалаврів інформатики операційних систем та системного програмування і здійснення

порівняльного аналізу програмних засобів віртуалізації unіх-подібних ОС на основі сформульованих критеріїв.

Дослідженню питань застосування технологій віртуалізації у навчанні інформатичних дисциплін присвячено роботи А. Є. Батюка, Д. Є. Ванькевича, О. Г. Глазунової, Г. Г. Злобіна, О. В. Якобчука та ін. Розробкою вимог до програмних засобів, що використовуються у навчальному процесі, займалися М. І. Жалдак, В. Ю. Габрусев, Е. І. Кузнєцов, В. В. Лапінський, Ю. І. Машбиць, В. М. Монахов, І. Р. Роберт, М. І. Шут та ін. У. П. Когут пропонує здійснювати вибір програмних засобів для фундаменталізації підготовки бакалаврів інформатики з інформатичних дисциплін за наступними критеріями: методична доцільність; інтуїтивно зрозумілий інтерфейс; україномовний інтерфейс; апаратна сумісність; програмна сумісність; ліцензійна чистота [1].

На основі поданих вище критеріїв вибору, специфіки віртуалізаційного ПЗ порівняно з іншими програмними засобами, що використовуються у навчальному процесі, вивчення досвіду навчання unіх-подібних ОС у вітчизняних та зарубіжних закладах вищої освіти, а також власного досвіду викладання дисципліни "Операційні системи та системне програмування" бакалаврам інформатики у Житомирському державному університеті імені Івана Франка, нами було запропоновано наступні **критерії добору програмних засобів віртуалізації у навчанні unіх-подібних операційних систем:**

- (1) відповідність використовуваної технології віртуалізації потребам курсу;
- (2) універсальність;
- (3) ліцензійна чистота;
- (4) функціональність інтерфейсу;
- (5) популярність та підтримка.

З метою з'ясування ступеню проявлення критеріїв, у межах кожного з критеріїв ми виокремили показники, які підлягають оцінюванню (рис. 1). Опиратимемось на здійснену нами узагальнену систематизацію технологій віртуалізації, описану в [2]. Зазначена систематизація передбачає поділ технологій віртуалізації за напрямом та за методом.

Систематизація технологій віртуалізації *за напрямом* передбачає виокремлення віртуалізації серверів (віртуальні машини та віртуальні контейнери), віртуалізації настільних ОС (віртуальні машини), віртуалізації програмних застосувань та віртуалізації подань. Віртуальні машини можуть бути реалізовані як гіпервізори I типу, гіпервізори II типу або гібридні гіпервізори. Систематизація технологій віртуалізації *за методом* означає виділення програмної віртуалізації (повна емуляція, API-емуляція та квазіемуляція) та апаратної віртуалізації (технології Intel VT-x та AMD-V). До методів квазіемуляції належать динамічна трансляція та паравіртуалізація. Пояснення стосовної кожної технології за необхідності наводитимуться далі.

Критерій (1) "відповідність використовуваної технології віртуалізації потребам курсу" характеризує не окреме ПЗ, а технологію віртуалізації, котра лежить у його основі. Детальніше розглянемо **показник (1.1.1) "можливість формування компетентностей та умінь, визначених галузевим стандартом"**, оскільки він дозволяє здійснити попереднє відсіювання ряду технологій віртуалізації і таким чином дає змогу надалі виконати порівняльний аналіз лише частини технологій. Такі визначені галузевим стандартом уміння, як, зокрема, "володіти основними прийомами застосування системного програмного забезпечення інформаційної системи" (3.СВ.Д.01.ПР.Н.07), "вміти застосовувати основні функції операційної системи для роботи з файлами та каталогами" (3.СВ.Д.01.ПР.Р.11), "вміти застосовувати сервісне програмне забезпечення (програми-архіватори, антивірусні програми, програми-утиліти тощо)" (3.СВ.Д.01.ПР.Р.13), "вміти інсталювати програмні засоби" (3.СВ.Д.01.ПР.Р.14) [3] передбачають роботу з ОС у цілому, а не лише з окремими програмами, причому кожен студент повинен працювати з власним екземпляром ОС, аби бачити ефект від своїх дій. Отже, для формування цих умінь не підійдуть засоби, що реалізують *віртуалізацію програмних застосувань* (дають можливість працювати не з усією

ОС, а з конкретними програмами), а також засоби *віртуалізації подань* (надають усім користувачам паралельний віддалений доступ до спільного екземпляра ОС).

Отже, після відбору технологій віртуалізації відповідно до показника (1.1.1) маємо такі *напрями віртуалізації*, як гіпервізори I типу, гіпервізори II типу, гібридні гіпервізори, віртуальні контейнери. Окрім того, можливе також навчання *unix-подібних ОС* без застосування технологій віртуалізації. Ідеться про наявність комп'ютерного класу, в якому *unix-подібну ОС*, що вивчається, встановлено на реальні машини – або як єдину ОС на кожному із цих комп'ютерів, або поряд із іншою ОС, найчастіше в окремий розділ жорсткого диску (так зване мультизавантаження, англ. multi-booting). Таким чином, одержуємо наступні *варіанти навчання unix-подібних ОС*: **єдина ОС, мультизавантаження, гіпервізори I типу, гіпервізори II типу, гібридні гіпервізори, віртуальні контейнери**. Оцінимо ці варіанти навчання за рештою показників групи (1.1) та здійснимо порівняльний аналіз варіантів навчання *unix-подібних ОС* у підготовці бакалаврів інформатики у контексті навчання дисципліни "Операційні системи та системне програмування".

Показник (1.1.2) "швидкість" визначається відсутністю явних затримок у роботі *unix-подібної ОС*, що вивчається, й оцінюється за параметрами:

0 балів – ОС, що вивчається, працює дуже повільно, і це суттєво впливає на продуктивність виконання студентами завдань лабораторної роботи;

1 бал – ОС, що вивчається, працює помітно повільніше, ніж це потенційно можливо на даному обладнанні, однак вплив затримок на продуктивність виконання студентами завдань лабораторної роботи є помірним;

2 бали – ОС, що вивчається, працює дещо повільніше, ніж це потенційно можливо на даному обладнанні, однак вплив на продуктивність виконання студентами завдань лабораторної роботи є незначним;

3 бали – ОС, що вивчається, працює швидко, але повільніше, ніж це потенційно можливо на даному обладнанні; вплив затримок на продуктивність виконання студентами завдань лабораторної роботи мінімальний або відсутній;

4 бали – ОС, що вивчається, працює з максимальною швидкістю, доступною на даному обладнанні.

Показник (1.1.3) "надійність" пов'язаний з відсутністю збоїв протягом деякого періоду часу. Оцінювання даного показника здійснюється згідно з параметрами:

0 балів – надійність роботи ОС, що вивчається, є низькою, збої трапляються дуже часто;

1 бал – надійність роботи ОС, що вивчається, є середньою, збої трапляються досить часто, однак пов'язані з ними ризики можуть бути компенсовані, наприклад, шляхом збереження проміжних станів віртуалізованої ОС задля їх наступного використання як резервних копій у разі збою;

2 бали – надійність роботи ОС, що вивчається, є високою, збої трапляються досить рідко, однак дещо частіше, ніж коли б ОС не було віртуалізовано;

3 бали – надійність роботи ОС, що вивчається, є найвищою, збої трапляються так само рідко, як коли б ОС не було віртуалізовано.

Показник (1.1.4) "універсальність щодо гостей ОС" означає підтримку широкого спектру ОС у ролі гостьової. Поняття основної і гостьової ОС розглядаються передусім для категорій програмних засобів віртуалізації, які встановлюються поверх деякої невіртуалізованої ОС. У такому разі ця невіртуалізована ОС називається *основною ОС*. У межах основної ОС інсталується віртуалізаційне ПЗ (*гіпервізор II типу*), за допомогою якого віртуалізуються ще одна або декілька ОС – *гостьові*. За відсутності основної ОС (*гіпервізори I типу, гібридні гіпервізори*), як і у випадку віртуальних контейнерів, до віртуалізованих ОС також часто застосовують термін "гостьові". Для оцінювання показника (1.1.4) використовуються параметри:

0 балів – низька універсальність (оцінюваний варіант дозволяє навчати лише однієї ОС, наприклад, лише FreeBSD або лише Linux);

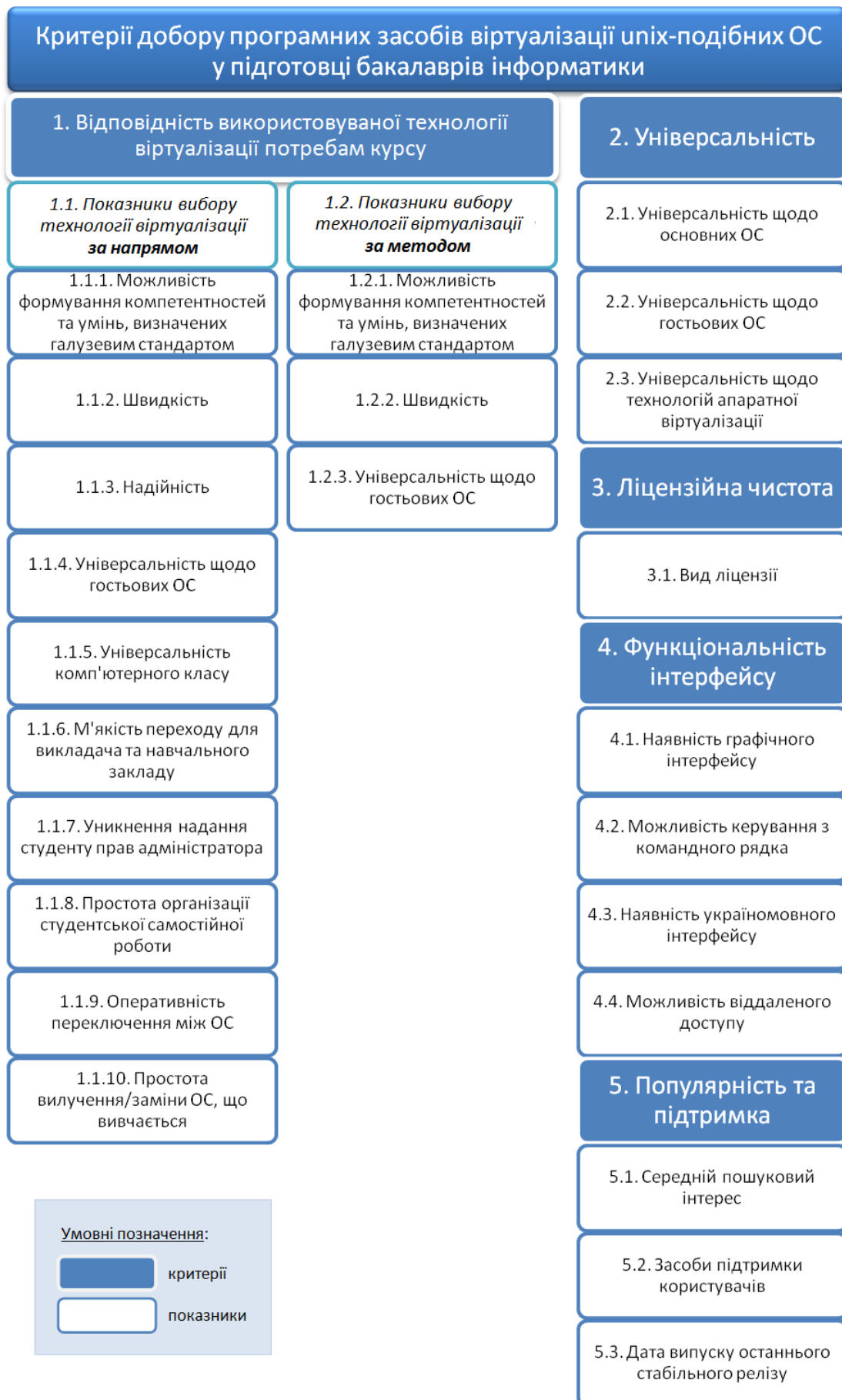


Рис. 1. Схематичне подання критеріїв добору програмних засобів віртуалізації unіx-подібних ОС у навчанні бакалаврів інформатики.

1 бал – середня універсальність (оцінюваний варіант дозволяє навчати лише ОС однієї платформи, наприклад, лише unix-подібних);

2 бали – висока універсальність (оцінюваний варіант дозволяє навчати ОС різних платформ, у тому числі unix-подібних, однак перелік потенційно доступних ОС є невеликим й обмежується кількома ОС кожної платформи);

3 бали – висока універсальність (оцінюваний варіант дозволяє навчати ОС різних платформ, у тому числі unix-подібних, а перелік потенційно доступних ОС є великим).

Показник (1.1.5) "універсальність комп'ютерного класу" визначається можливістю проведення у даному комп'ютерному класі занять із інших дисциплін й оцінюється відповідно до параметрів:

0 балів – низька універсальність комп'ютерного класу (комп'ютерний клас адаптований для проведення занять з "Операційних систем та системного програмування", тимчасом як для організації у цьому класі занять з інших дисциплін потрібні значні зусилля);

1 бал – середня універсальність комп'ютерного класу (комп'ютерний клас однаково добре підходить як для проведення занять з "Операційних систем та системного програмування", так і для навчання інших дисциплін, але, можливо, під час занять знадобиться використання засобів віртуалізації чи перезавантаження комп'ютерів для переходу з однієї ОС в іншу);

2 бали – висока універсальність комп'ютерного класу (комп'ютерний клас адаптований для проведення занять з інших дисциплін, тимчасом як для організації у цьому класі занять з "Операційних систем та системного програмування" достатньо веб-переглядача та мережного з'єднання).

Показник (1.1.6) "м'якість переходу для викладача та навчального закладу" тотожна можливості розпочати використання даного варіанту навчання unix-подібних ОС без кардинальних змін у програмному та апаратному забезпеченні комп'ютерного класу чи навчального закладу загалом. Даний показник оцінюється за допомогою наступних параметрів:

0 балів – низька м'якість переходу (радикальні зміни в програмному і/або апаратному забезпеченні);

1 бал – середня м'якість переходу (суттєві зміни у програмному і/або апаратному забезпеченні);

2 бали – висока м'якість переходу (незначні зміни у програмному і/або апаратному забезпеченні).

Показник (1.1.7) "уникнення надання студенту прав адміністратора" має на меті забезпечення стабільної роботи комп'ютерного класу і передбачає надання переваги варіантам, що дозволяють не виділяти студенту адміністративних прав у межах комп'ютера, за яким працює студент. Для оцінювання даного показника використовуються параметри:

0 балів – немає можливості уникнути надання студенту прав адміністратора у межах комп'ютера, за яким працює студент;

1 бал – є можливість уникнути надання студенту прав адміністратора у межах комп'ютера, за яким працює студент.

Показник (1.1.8) "простота організації студентської самостійної роботи" означає потенційну доступність для студента роботи з unix-подібною ОС, що вивчається, у позаурочний час, зокрема на власному комп'ютері. Оцінювання показника здійснюється відповідно до параметрів:

0 балів – для самостійної роботи з ОС, що вивчається, необхідні значні організаційні зусилля студента (потрапити після занять у певний комп'ютерний клас; встановити ОС, що вивчається, на власний комп'ютер як єдину чи як другу ОС; самостійно освоїти програмний засіб віртуалізації за умови відсутності досвіду роботи з аналогічними засобами під час занять тощо);

1 бал – для самостійної роботи з ОС, що вивчається, потрібні незначні організаційні зусилля студента (встановити на власний комп'ютер програмний засіб віртуалізації, тотожний чи аналогічний тому, який використовується під час занять; мати веб-переглядач,

мережне з'єднання та перебувати в зоні дії локальної мережі навчального закладу; мати веб-переглядач, мережне з'єднання, включно з доступом до інтернету тощо).

Показник (1.1.9) "оперативність переключення між ОС" передбачає підтримку швидкого переходу від однієї ОС до іншої за умови одночасної наявності на одному комп'ютері декількох ОС, у тому числі віртуалізованих. Параметри для оцінювання даного показника є наступними:

0 балів – для переключення між різними ОС потрібне перезавантаження комп'ютера;

1 бал – для переключення між різними ОС перезавантаження комп'ютера не потрібне.

Показник (1.1.10) "простота вилучення/заміни ОС, що вивчається" дає змогу за мінімальних затрат часу та зусиль перейти на вивчення іншої ОС, здійснювати одночасне вивчення кількох ОС тощо. Показник оцінюється згідно з параметрами:

0 балів – вилучення/заміна ОС, що вивчається, є простими;

1 бал – вилучення/заміна ОС, що вивчається, є складнішими і можуть передбачати вирішення питань з наступним використанням звільнених розділів жорсткого диску, перевстановлення ПЗ, необхідного для проведення занять з інших дисциплін, тощо.

Для кожного з варіантів навчання обчислимо суми нормованих оцінок за формулою

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^{max}} x_i,$$

де n – кількість показників, x_i – оцінка за i -м показником, x_i^{max} – максимально можливе значення оцінки за i -м показником.

Результати оцінювання варіантів навчання unіx-подібних ОС за показниками групи (1.1) наведено у табл. 1. Помітно менша сума балів відповідає варіантам, котрі не передбачають віртуалізації, – єдина ОС (3,000 бала) та мультизавантаження (3,667 бала). Суми балів, одержані для решти варіантів, які ґрунтуються на технологіях віртуалізації, близькі за значенням (від 7,083 до 7,667 бала), причому гіпервізори I типу та гібридні гіпервізори все ж дещо переважають віртуальні контейнери, а віртуальні контейнери – гіпервізори II типу.

Таблиця 1.

Порівняння напрямів віртуалізації unіx-подібних ОС та альтернативних їм варіантів без віртуалізації за визначеними для них показниками групи (1.1) критерію (1)

Варіант навчання unіx-подібних ОС	Показники та діапазони можливих значень параметрів									
	Швидкість (0..4)	Надійність (0..3)	Універсальність щодо гостей ОС (0..3)	Універсальність комп'ютерного класу (0..2)	М'якість переходу для викладача та навчального закладу (0..2)	Уникнення надання студенту прав адміністратора (0..1)	Простота організації студентської самостійної роботи (0..1)	Оперативність перемикання між ОС (0..1)	Простота вилучення/заміни ОС, що вивчається (0..1)	Сума нормованих оцінок
Єдина ОС	4	3	3	0	0	0	0	0	0	3,000
Мультизавантаження	4	2	3	1	1	0	0	0	0	3,667
Гіпервізор I типу	2	2	3	2	1	1	1	1	1	7,667
Гібридний гіпервізор	2	2	3	2	1	1	1	1	1	7,667
Віртуальні контейнери	3	2	1	2	1	1	1	1	1	7,250
Гіпервізор II типу	1	1	3	1	2	1	1	1	1	7,083

Ураховуючи отримані результати порівняльного аналізу, надалі у цій роботі ми розглядатимемо лише варіанти навчання, які передбачають віртуалізацію – **гіпервізори I типу, гіпервізори II типу, гібридні гіпервізори та віртуальні контейнери**. У випадку гіпервізорів I типу гіпервізор не має під собою жодної ОС, тимчасом як гіпервізори II типу

встановлюється поверх деякої ОС (основної ОС). Гібридні гіпервізори поєднують риси гіпервізорів I та II типів, але на практиці ближчі до гіпервізорів I типу, що добре видно з результатів оцінювання. Віртуальні контейнери використовують спільне ядро ОС і тому працюють під управлінням однієї ОС.

Перейдемо до порівняння методів віртуалізації unіx-подібних ОС за показниками групи (1.2) критерію (1). Як і під час порівняння за показниками групи (1.1) цього критерію, спершу здійснимо відсіювання за показником (1.2.1). Ми вважаємо за доцільне застосування ПЗ, що ґрунтується на таких методах програмної віртуалізації, як *динамічна трансляція* та *паравіртуалізація*. Підтримка *апаратної віртуалізації* не впливає на відповідність галузевому стандарту, а тому винесена до показника (2.3). Повна емуляція (застосована безпосередньо) є суттєво повільнішою за решту технологій [4, с. 98-99], а засоби пришвидшення її роботи сумісні з невеликою кількістю ОС [5] та мають проблеми з підтримкою [6], до того ж, навчання бакалаврів інформатики дисципліни "Операційні системи та системне програмування" не потребує імітації всієї архітектури комп'ютера. Втім, повна емуляція часто є складовою інших технологій, тому в даному випадку йдеться лише про відмову від неї в чистому вигляді. API-емуляція віртуалізує окремі програми, що не дозволяє формувати перелічені вище уміння.

Таким чином, після попереднього відбору за показником (1.2.1) одержуємо такі *методи віртуалізації*, як *динамічна трансляція* та *паравіртуалізація*. Оцінимо ці методи за рештою показників групи (1.2) критерію (1) та виконаємо їх порівняльний аналіз.

Показник (1.2.2) "швидкість роботи" оцінюється за тими самими параметрами, що й аналогічний показник (1.1.2) групи (1.1).

Показник (1.2.3) "універсальність щодо гостей ОС" передбачає підтримку різноманітних ОС у ролі гостей. Для оцінювання показника використовуються параметри:

0 балів – низька універсальність (оцінюваний метод дозволяє використовувати у ролі гостьової лише ОС з відкритим кодом);

1 бал – висока універсальність (оцінюваний метод дозволяє використовувати у ролі гостьової як ОС з відкритим кодом, так і ОС із закритим кодом).

Результати оцінювання відібраних методів віртуалізації за показниками групи (1.2) наведено у (табл. 2).

Таблиця 2.

Порівняння методів віртуалізації unіx-подібних ОС за визначеними для них показниками групи (1.2) критерію (1)

Метод віртуалізації	Показники та діапазони можливих значень параметрів		
	Швидкість (0..3)	Універсальність щодо гостей ОС (0..1)	Сума нормованих оцінок
Динамічна трансляція	2	1	1,667
Паравіртуалізація	3	0	1

З табл. 2 видно, що обидва методи віртуалізації одержали близькі за значенням суми балів (1,667 та 1). Згідно з методом *динамічної трансляції*, під час роботи гостьової ОС гіпервізор перехоплює ті інструкції, які неможливо віртуалізувати на процесорах x86 (*службові інструкції*), і замінює їх іншими аналогічними послідовностями інструкцій. Метод *паравіртуалізації* передбачає попередню модифікацію коду гостьової ОС із заміною службових інструкцій відповідними викликами гіпервізора. Беручи до уваги одержані результати порівняльного аналізу, надалі ми розглядатимемо ПЗ на базі обох цих методів чи їх комбінації.

Поєднавши результати порівняльного аналізу, з одного боку, технологій віртуалізації та альтернативних їм варіантів навчання ОС за показниками групи (1.1), а з іншого – методів віртуалізації за показниками групи (1.2), визначимо **параметри для підсумкового оцінювання ПЗ за показниками критерію (1)**:

0 балів – гіпервізор II типу (динамічна трансляція і/або паравіртуалізація); віртуальні контейнери;

1 бал – гіпервізор I типу (або динамічна трансляція, або паравіртуалізація); гібридний гіпервізор (або динамічна трансляція, або паравіртуалізація); гіпервізор II типу (або динамічна трансляція, або паравіртуалізація) у поєднанні з віртуальними контейнерами;

2 бали – гіпервізор I типу (і динамічна трансляція, і паравіртуалізація); гібридний гіпервізор (і динамічна трансляція, і паравіртуалізація); гіпервізор II типу (і динамічна трансляція, і паравіртуалізація) у поєднанні з віртуальними контейнерами.

Перейдемо до оцінювання **програмних засобів віртуалізації**, що ґрунтуються на виокремлених технологіях, за показниками критеріїв (1)-(5).

Критерій (2) **"універсальність"** складають показники:

(2.1) універсальність щодо основних ОС;

(2.2) універсальність щодо гостей ОС;

(2.3) універсальність щодо технологій апаратної віртуалізації.

Показник (2.1) "універсальність щодо основних ОС" означає можливість встановлення віртуалізаційного ПЗ на комп'ютери з різними основними ОС, у тому числі ОС різних платформ. Показник оцінюється за наступними параметрами:

0 балів – підтримується лише одна основна ОС (або одна платформа ОС, наприклад, лише Linux, лише Windows, лише FreeBSD);

1 бал – підтримується декілька основних ОС (і ці ОС належать до різних платформ, наприклад, і Windows, і Linux); не потребує основної ОС (гіпервізори I типу, гібридні гіпервізори).

Показник (2.2) "універсальність щодо гостей ОС" відрізняється від подібного показника (1.2.3) критерію (1) й спрямований передусім на виявлення підтримуваних платформ ОС. Один програмний засіб віртуалізації нерідко поєднує в собі декілька методів віртуалізації, а тому у переліках підтримуваних ОС можуть бути як ОС із відкритим, так і ОС із закритим кодом. Оцінювання показника здійснюється згідно з наступними параметрами:

0 балів – підтримується лише одна гостьова ОС;

1 бал – підтримуються гостьові ОС лише однієї платформи (наприклад, лише Linux, лише unix-подібні); підтримуються різні гостьові ОС, у тому числі різних платформ, однак серед офіційно підтримуваних гостьових ОС немає безкоштовних;

2 бали – підтримуються різні гостьові ОС, у тому числі різних платформ, і серед офіційно підтримуваних гостьових ОС є безкоштовні.

Показник (2.3) "універсальність щодо технологій апаратної віртуалізації" визначається наявністю чи відсутністю підтримки програмним засобом процесорів з апаратною віртуалізацією (технології Intel VT-x чи AMD-V). Наявність такої підтримки дає змогу поєднати технології програмної та апаратної віртуалізації, чим потенційно пришвидшити роботу віртуалізованої ОС. Однак ряд програмних засобів не лише підтримують апаратну віртуалізацію, а й висувають її як обов'язкову системну вимогу, що робить таке ПЗ незастосовним на інших процесорах. Оцінювання показника (2.3) здійснюватимемо відповідно до параметрів:

0 балів – апаратна віртуалізація не підтримується;

1 бал – апаратна віртуалізація підтримується і є обов'язковою для всіх гостьових ОС;

2 бали – апаратна віртуалізація підтримується і є обов'язковою для частини гостьових ОС (наприклад, для ОС із закритим кодом);

3 бали – апаратна віртуалізація підтримується, але не є обов'язковою для жодної з гостьових ОС.

Критерій (3) "ліцензійна чистота" передбачає фінансову й організаційну можливість для навчального закладу використовувати програмний засіб згідно з ліцензією і характеризується єдиним показником (3.1) **"вид ліцензії"**. У реаліях вітчизняного навчального процесу одним із найпростіших та найдешевших є варіант застосування умовно безкоштовного та вільно поширюваного ПЗ (останнє надає більше додаткових можливостей,

оскільки передбачає доступ до програмних кодів засобу), тому надалі у цій статті ми зосередимось саме на такому ПЗ. Показник оцінюється за параметрами:

0 балів – власницьке ПЗ, використання платне;

1 бал – власницьке ПЗ, використання умовно безкоштовне (використання для навчальних закладів обмежене закладами-членами партнерських програм);

2 бали – власницьке ПЗ, використання умовно безкоштовне (використання для всіх навчальних закладів безкоштовне);

3 бали – вільно поширюване ПЗ; безкоштовне ПЗ.

Критерій (4) "функціональність інтерфейсу" має такі показники, як

(4.1) наявність графічного інтерфейсу;

(4.2) можливість керування з командного рядка;

(4.3) наявність україномовного інтерфейсу;

(4.4) можливість віддаленого доступу.

Показник (4.1) "наявність графічного інтерфейсу". Графічний інтерфейс спрощує роботу з програмним засобом для користувача-початківця. Оцінювання показника здійснюється за параметрами:

0 балів – немає графічного інтерфейсу;

1 бал – є графічний інтерфейс (можливо, сторонніх розробників).

Показник (4.2) "можливість керування із командного рядка". Керуваність із командного рядка уможливорює написання сценаріїв та утиліт для часткової автоматизації процесу проведення лабораторних робіт. Показник оцінюється відповідно до параметрів:

0 балів – немає можливості керування ПЗ з командного рядка;

1 бал – є можливість керування ПЗ з командного рядка (у тому числі застосовуючи ПЗ сторонніх розробників).

Показник (4.3) "наявність україномовного інтерфейсу". Доступність україномовного інтерфейсу сприяє оволодінню україномовною термінологією. Оцінювання показника виконується згідно з параметрами:

0 балів – україномовного інтерфейсу немає;

1 бал – україномовний інтерфейс є, однак українська локалізація інтерфейсу часткова, і/або переклад містить численні неточності;

2 бали – україномовний інтерфейс є, в цілому українська локалізація інтерфейсу повна, а переклад – точний.

Показник (4.4) "можливість віддаленого доступу" передбачає наявність сумісних із даним ПЗ веб-інтерфейсів для роботи з віртуальними машинами (віртуальними контейнерами) через мережу. Доступність таких інтерфейсів відкриває перспективи для застосування хмарного підходу до розміщення віртуалізованих ОС (наприклад, на локальному сервері начального закладу, самостійно обслуговуваному чи орендованому глобального сервері). Це може передбачати деякі додаткові організаційні зусилля та матеріальні затрати на початковому етапі, однак несе і ряд переваг. Це, зокрема, можливість доступу до віртуальних машин (віртуальних контейнерів) з різних комп'ютерних класів чи з особистих комп'ютерів студентів за умови наявності підключення до мережі інтернет, причому у випадку глобального сервера такий доступ є й поза межами начального закладу. Іншою перевагою віддаленого розміщення віртуалізованих ОС є переведення витрат щодо модернізації із площини оновлення техніки в комп'ютерних класах у площину модернізації власного сервера чи оплати орендованого сервера. Досвід застосування технологій віддаленого доступу до віртуальних машин з навчальною метою описано зокрема у [7], [8]. Втім, реалізація потенціалу веб-інтерфейсів для віртуалізаційного ПЗ потребує готовності викладача і навчального закладу.

Показник (4.4) оцінюється відповідно до параметрів:

0 балів – веб-інтерфейсу для даного ПЗ немає;

1 бал – веб-інтерфейс для даного ПЗ є (можливо, веб-інтерфейс стороннього розробника).

Критерій (5) "популярність та підтримка" складають показники:

- (5.1) середній пошуковий інтерес;
- (5.2) засоби підтримки користувачів;
- (5.3) дата випуску останнього стабільного релізу.

Популярний продукт з більшою імовірністю стане в пригоді студенту в його майбутній професійній діяльності, має вищі шанси на тривалу підтримку. Оцінювання популярності програмних засобів віртуалізації ускладнене відсутністю авторитетних рейтингів такого ПЗ. Втім, наближеним аналогом популярності того чи іншого ПЗ може вважатися інтерес до цього ПЗ у всесвітній мережі. Для оцінювання інтересу до ПЗ ми застосували систему Google Trends (Google Тренди), в основі роботи якої лежить визначення частки пошукових запитів, котрі містили досліджуваний термін (у даному випадку – назви програмного засобу віртуалізації). Для цього обчислюється відношення кількості пошукових запитів Google, до складу яких входив цей термін, за певний період часу, до загальної кількості пошукових запитів Google за той самий період. Одержане значення нормалізується (діапазон від 0 до 100). Також знаходяться середні значення нормалізованого відношення за весь розглянутий період часу [9]. Для зручності назвемо ці значення *середнім пошуковим інтересом (СПІ)*. З метою оцінювання популярності програмних засобів віртуалізації нами було використано СПІ, обчислений для діапазону з 2004 по 2014 роки. СПІ є **показником (5.1) "середній пошуковий інтерес"** критерію (5) "популярність та підтримка". Після обчислення значення СПІ здійснюється його оцінювання за параметрами:

- 0 балів – $0 \leq СПІ < 10$;
- 1 бал – $10 \leq СПІ < 30$;
- 2 бали – $30 \leq СПІ < 50$;
- 3 бали – $СПІ \geq 50$.

Показник **(5.2) "засоби підтримки користувачів"**. Наявність різноманітних форм підтримки користувачів (користувацька та технічна документація, форуми, списки розсилки, підтримка через IRC тощо) допомагає в освоєнні програмного засобу та у разі виникнення технічних проблем. Показник оцінюється за наступними параметрами:

- 0 балів – підтримка користувачів платна;
- 1 бал – підтримка користувачів переважно платна, однак є мінімальний обсяг безкоштовної підтримки (наявної в одній-двох формах); підтримка користувачів безкоштовна, однак дуже обмежена (наявна в одній-двох формах)
- 2 бали – підтримка користувачів переважно або повністю безкоштовна, а також наявна у багатьох формах.

Показник **(5.3) "дата випуску останнього стабільного релізу"** дає наближене уявлення про актуальність програмного забезпечення. Для оцінювання даного показника використовуються параметри:

- 0 балів – останній стабільний реліз випущено до 2007 року;
- 1 бал – останній стабільний реліз випущено у період з 2007-го по 2012-й рік включно;
- 2 бали – останній стабільний реліз випущено у період з 2013-го року й до сьогодні.

На основі розглянутих *критеріїв та показників добору програмних засобів віртуалізації* проведемо порівняльний аналіз віртуалізаційного ПЗ, яке належить до категорій вільно поширюваного та умовно безкоштовного ПЗ.

У табл. 3 щодо кожного показника наведено фактичні відомості, взяті передусім з офіційних сайтів ПЗ, тимчасом як табл. 4 містить чисельні результати оцінювання згідно з показниками.

Важливо врахувати, що під час порівняльного аналізу ми спиралися на припущення про однакову вагу всіх показників. У кожному окремому випадку показники можуть мати різну вагу, і тоді, ймовірно, матимуть місце інші результати. У зв'язку з цим ми вбачаємо необхідність створення спеціальних засобів підтримки викладача у виборі віртуалізаційного ПЗ (довідкових матеріалів, інфографіки, експертних систем тощо), що давали б змогу викладачу індивідуалізувати вибір віртуалізаційного ПЗ, відповідно до наявних потреб, можливостей та пріоритетів.

	(1)		(2)		(3)			(4)				(5)		
	(1.1) / (1.2)	(2.1) / (2.2)	(2.3)	(3.1)	(4.1)	(4.2)	(4.3)	(4.4)	(5.1)	(5.2)	(5.3)			
Proxmox VE + KVM + Open VZ	гіпервізор II типу + віртуальні контейнери + динамічна трансляція + паравіртуалізація	Linux / Windows, Linux, OpenBSD, FreeBSD, DragonflyBSD, Solaris, OpenSolaris, QNX та ін.	апаратна віртуалізація підтримується і є обов'язковою для віртуальних машин на базі KVM та необов'язковою для решти машин	вільно поширюване ПЗ (GNU AGPL v.3)	так	так	ні	так, інтерфейсом для віддаленого доступу є саме ПЗ	1	користувальська та технічна документація, відеоуроки, відкриті коди, списки розсилки, а також додаткова платна підтримка	вересень 2014			
Open VZ	віртуальні контейнери	- / Linux	апаратна віртуалізація не підтримується	вільно поширюване ПЗ (GNU GPL v.2)	так, ПЗ сторонніх розробни-ків	так	ні	так, Open VZ Web Panel, Proxmox VE та ін.	2	користувальська та технічна документація, відкриті коди, форуми, список розсилки та ін.	січень 2015			
FreeBSD jail	віртуальні контейнери	- / FreeBSD	апаратна віртуалізація не підтримується	вільно поширюване ПЗ (FreeBSD License)	так, ПЗ сторонніх розробни-ків	так	ні	так, CBSD та ін.	0	користувальська та технічна документація, відкриті коди	листопад 2014			
Linux-Vserver	віртуальні контейнери	- / Linux	апаратна віртуалізація не підтримується	вільно поширюване ПЗ (GNU GPL v.2)	так, ПЗ сторонніх розробни-ків	так	ні	так, Open VCP та ін.	0	користувальська та технічна документація, відкриті коди, списки розсилки, IRC	квітень 2007 (експериментальні версії: січень 2015)			
Oracle VM Server for x86	гібридний гіпервізор; паравіртуалізація (для ОС із відкритим кодом) + апаратна віртуалізація (для ОС із закритим кодом)	- / Linux (офіційно): Oracle Linux, Red Hat Enterprise Linux, Oracle Solaris, Windows Server, Windows 7/8 та ін.)	апаратна віртуалізація і є обов'язковою для ОС із закритим кодом	Oracle VM Server: вільно поширюване ПЗ (GNU GPL) Oracle VM Manager: безкоштовне (private source, freely re-distributable, free use)	так	так	ні	так, інтерфейс доступу включено до ПЗ	2	оглядова користувальська та технічна документація; підтримка переважно є платною	липень 2014			

(1)	(2)		(3)		(4)			(5)			
	(1.1) / (1.2)	(2.1) / (2.2)	(2.3)	(3.1)	(4.1)	(4.2)	(4.3)	(4.4)	(5.1)	(5.2)	(5.3)
гібридний гіпервізор; паравіртуалізація (для ОС із відкритим кодом) + апаратна віртуалізація (для ОС із закритим кодом)		– / Windows, Linux, Minix, Plan 9, NetBSD, FreeBSD, OpenSolaris, NetWare та ін.	апаратна віртуалізація підтримується і є вільно поширюване ПЗ обов'язковою для (GNU GPL v.2) ОС із закритим кодом		так	так	ні	так, HyperVM, Con Virt, OpenNebula, YaST, Xen Orchestra та ін.	21	користувачка та технічна документація, відкриті коди, списки розсилки, IRC	січень 2015
XenServer											

Таблиця 4.

Порівняльний аналіз програмних засобів віртуалізації ітих-подібних ОС у підготовці бакалаврів інформатики: чисельні результати оцінювання

Назва ПЗ	Оцінки за критеріями та показниками; параметри оцінювання										Сума нормованих оцінок				
	(1)		(2)		(3)		(4)			(5)					
	(1.1) / (1.2)	(1.2)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(3.1)	(4.1)	(4.2)	(4.3)	(4.4)		(5.1)	(5.2)	(5.3)	
Oracle VirtualBox	0	0.1	2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	11.000
XenServer	1	1	2	2	3	3	1	1	0	1	1	2	2	2	9.417
Proxmox VE	2	0	2	2	3	3	1	1	0	1	0	2	2	2	8.667
Oracle VM Server for x86	1	1	1	2	3	3	1	1	0	1	0	1	2	2	8.167
VMware Player	0	1	2	3	1	1	1	1	0	0	1	2	2	2	7.583
KVM	0	0	2	1	3	3	1	1	0	1	0	2	1	1	6.833
Open VZ	0	0	0	0	3	3	1	1	0	1	0	2	2	2	6.000
FreeBSD jail	0	0	0	0	3	3	1	1	0	1	0	2	2	2	6.000
Linux-Vserver	0	0	0	0	3	3	1	1	0	1	0	2	1	1	5.500

За умови рівнозначності всіх показників, лідером за результатами порівняльного аналізу є VirtualBox (компанія Oracle). Втім, варто враховувати, що VirtualBox, будучи гіпервізором II типу, адаптований для віртуалізації настільних ОС, а не для віртуалізації серверів (хоч і має клієнтський веб-інтерфейс [10]), у зв'язку з чим у разі інтересу викладача і навчального закладу до організації сервера з віртуалізованими ОС є сенс також звернути увагу на гіпервізори I типу, гібридні гіпервізори та віртуальні контейнери.

Висновки. Визначено критерії добору програмних засобів віртуалізації unix-подібних ОС у підготовці бакалаврів інформатики. На основі визначених критеріїв та показників проведено порівняльний аналіз технологій віртуалізації, поряд із варіантами навчання unix-подібних ОС без використання віртуалізації. Здійснено порівняльний аналіз віртуалізаційного ПЗ, технології в основі якого відповідають одержаним результатам. У разі, коли всі показники мають однакову вагу, найбільшу кількість позитивно проявлених показників має Oracle VirtualBox, однак у разі різної ваги показників результати можуть бути іншими. Враховуючи це, напрямками подальших досліджень є:

- побудова методики застосування технологій віртуалізації unix-подібних ОС у підготовці бакалаврів інформатики за принципом максимальної незалежності від конкретної технології чи програмного засобу;
- розробка одного чи декількох спеціальних засобів підтримки викладача у виборі віртуалізаційного ПЗ для навчання операційних систем та системного програмування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Когут У. П. Класифікація та критерії вибору програмних засобів для фундаменталізації підготовки бакалаврів інформатики з інформатичних дисциплін / У. П. Когут // Інформаційні технології в освіті. – 2012. – № 11. – С. 88-97. – Режим доступу: http://ite.kspu.edu/ru/webfm_send/276. – 4.10.2014.
2. Головня О. С. Систематизація технологій віртуалізації / О. С. Головня // Інформаційні технології в освіті. – 2012.– №12. – С. 127-133. – Режим доступу: <http://ite.kspu.edu/issue-12/p-127-133>. – 4.10.2014.
3. Галузевий стандарт вищої освіти України. Освітньо-кваліфікаційна характеристика бакалавр. Галузь знань 0403 Системні науки та кібернетика. Напрямок підготовки 040302 Інформатика. Міністерство освіти і науки України. – К., 2010. – 32 с.
4. Таненбаум Э. Современные операционные системы / Эндрю Таненбаум. – СПб: Питер, 2010. – 1120 с.
5. QEMU/Doc. – Access mode: <http://wiki.qemu.org/KQemu/Doc>. – 16.09.2014.
6. From QVM86 to VirtualBox. – Access mode: <http://www.smokinglinux.com/linux/from-qvm86-to-virtualbox>. – 16.09.2014.
7. Батюк А. Використання технологій віртуалізації в спецкурсі "Системне адміністрування ОС Linux" / А. Батюк, Д. Ванькевич, Г. Злобін // Електроніка та інформаційні технології. – 2013. – Вип. 3. – С. 220-225. – Режим доступу: http://electronics.lnu.edu.ua/elit/pdf/3_23.pdf. – 5.04.2015.
8. Глазунова О. Проектування архітектури хмарно-орієнтованого інформаційно-освітнього середовища для підготовки майбутніх фахівців з інформаційних технологій / О. Г. Глазунова, О. В. Якобчук // Інформаційні технології та засоби навчання. – 2014. – Том 44, №6. – С. 141-156. – Режим доступу: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1133#.VSEvifmsWSo>. – 05.04.2015.
9. Google Trends Help: About Trends Graphs. – Access mode: https://support.google.com/trends/answer/4355164?hl=en&ref_topic=4365531.
10. С. Ильин. VirtualBox Tips'n'Tricks: Неочевидные трюки использования виртуальной машины // Хакер. – 2011. – №12/10. – Режим доступа: <http://www.xaker.ru/post/55217/>. – 01.11.2013.

Стаття надійшла до редакції 07.10.15

Olena Holovnya

**Institute of Information Technologies and Learning Tools of NAPS of Ukraine,
Kyiv, Ukraine**

CRITERIA FOR SELECTING VIRTUALIZATION SOFTWARE IN TEACHING UNIX-LIKE OPERATING SYSTEMS

Unix-like operating systems tend to be one of the top platforms as far as they illustrate most of modern operating systems basic principles and usually belong to free and open source software. For the above-mentioned reasons unix-like operating systems are widely used in education, particularly in teaching operating systems in undergraduate informatics education.

The purpose of this study is to formulate the criteria for selecting virtualization software for applying of this software in teaching unix-like operating systems in undergraduate informatics education. Using the formulated criteria, the contrastive analysis of virtualization technologies, including type I, type II and hybrid hypervisors based on dynamic translation, paravirtualization and both of these virtualization methods, and virtual containers. Along with virtualization technologies, alternative virtualization-free ways of teaching unix-like operating systems (installing virtualized operating system as the only system on the computer and multi-booting) are also considered. According to the obtained results the contrastive analysis of virtualization software basing on preselected virtualization technologies is done. The attention is paid on both virtualized operating systems which are placed locally and systems which are accessed over local area network or the Internet.

Keywords: virtualization, virtualization software, unix-like operating systems, Bachelors of Informatics.

Головня Е. С.

**Институт информационных технологий и средств обучения НАПН Украины,
Киев, Украина**

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В ОБУЧЕНИИ UNIX-ПОДОБНЫМ ОПЕРАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ

Unix-подобные операционные системы воплощают в себе большинство базовых принципов построения операционных систем, и в то же время они чаще всего принадлежат к свободно распространяемому программному обеспечению. Это делает unix-подобные операционные системы одной из важнейших платформ, а также способствует их активному применению в образовании, в том числе в подготовке бакалавров информатики.

В статье определены критерии выбора программных средств виртуализации для последующего использования этих средств в обучении unix-подобным операционным системам при подготовке бакалавров информатики. На основании предложенных критериев осуществлен сравнительный анализ существующих технологий виртуализации, в том числе гипервизоров I, II типа и гибридных гипервизоров, построенных на основании динамической трансляции, паравиртуализации и сочетания этих методов, а также виртуальных контейнеров. Наряду с технологиями виртуализации рассматриваются и альтернативные им варианты обучения unix-подобным операционным системам без применения виртуализации (установка unix-подобной операционной системы в качестве единственной системы на компьютере и мультизагрузка). В соответствии с полученными результатами, произведен сравнительный анализ виртуализационного программного обеспечения на основании предварительно выбранных технологий виртуализации, как предполагающих настольную работу с виртуализированной операционной системой, так и дающих возможность удаленного доступа к этой системе в пределах локальной или глобальной компьютерной сети.

Ключевые слова: виртуализация, программные средства виртуализации, виртуализационное программное обеспечение, unix-подобные операционные системы, бакалавры информатики.