



DOI 10.28925/2663-4023.2023.21.177192

УДК 004.932.2.

Лахно Валерій Анатолійович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-9695-4543
lva964@gmail.com

Лахно Мирослав Валерійович

магістр
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15.
ORCID: 0000-0001-6979-6076
valss725@gmail.com

Криворучко Олена Володимирівна

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки
Державний торговельно-економічний університет, м.Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-7661-9227
kryvoruchko_ev@knu.edu.ua

Десятко Альона Миколаївна

PhD in Computer Sciences, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки
Державний торговельно-економічний університет, м.Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-2284-3218
desyatko@knu.edu.ua

Чубаєвський Віталій Іванович

доктор економічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки
Державний торговельно-економічний університет, м.Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-8078-2652
chubaievskiy_vi@knu.edu.ua

Ахметов Бахитжан

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики та інформатизації освіти
Казахський національний педагогічний університет ім. Абая, м.Алмати, Казахстан
ORCID ID: 0000-0001-5622-2233
bakhytzhana.khmetov.54@mail.ru

Береке Мадіна

здобувач ступеня PhD
Казахський національний педагогічний університет ім. Абая, м.Алмати, Казахстан
ORCID ID: 0000-0001-5630-0553
mdbereke@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ МІНІМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ВУЗЛІВ КЛАСТЕРА ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ПРИВАТНИХ УНІВЕРСИТЕТСЬКОЇ ХМАРИ

Анотація. Хмарні обчислення - це парадигма обчислень, що динамічно розвивається. Особливо зросла затребуваність хмарних додатків та технологій (ХДТ) у період пандемії коронавірусу CoVID-19 та військового стану в Україні. Основною метою застосування ХДТ є звільнення користувачів хмарними ресурсами від управління апаратним та програмним забезпеченням (ПЗ). Однією із задач при проектуванні приватної університетської хмари є оцінка необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації. На таких вузлах розміщують віртуальні машини (ВМ) користувачів. Ці ВМ можуть використовуватися учнями та викладачами для виконання навчальних завдань, а також для наукової роботи. Друге завдання – оптимізація розміщення ВМ в обчислювальній мережі (ОМ) закладу вищої освіти, що дозволяє скоротити кількість вузлів ОМ без впливу на функціональність. А це, зрештою,



сприяє скороченню вартості такого рішення щодо розгортання приватної університетської хмари, що не менш важливо для українських закладів вищої освіти в умовах військового стану. У статті запропоновано модель оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації для приватної університетської хмари. Модель заснована на комбінованому підході, який передбачає спільне рішення задачі про оптимальну упаковку та знаходження за допомогою генетичного алгоритму конфігурації серверних платформ приватної університетської хмари.

Ключові слова: хмарно-орієнтоване навчальне середовище, університетська хмара, заклад вищої освіти, віртуалізація, віртуальні машини, оптимальне розміщення, модель.

ВСТУП

Вже багато років у практиці провідних світових закладів вищої освіти для підвищення ефективності освітньої та наукової роботи почали використовувати всілякі хмарні додатки та технології (ХДТ).

Хмарні обчислення - це парадигма обчислень, що швидко розвивається. Її основною метою є звільнення користувачів хмарними ресурсами від управління апаратним та програмним забезпеченням (ПЗ). Однією зі сфер широкого застосування ХДТ стало освітнє середовище закладів вищої освіти, коледжів та шкіл. Особливо зростає затребуваність ХДТ у період пандемії коронавірусу CoVID-19. Як зазначається в [1], [2], [3] однією з основних умов покращення якості підготовки фахівців, підвищення рівня їхньої професійної компетентності, ширшого використання інноваційних технологій стали хмарно-орієнтовані навчальні середовища (ХОНС) закладів вищої освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як було показано в роботах [4], [5] при перенесенні характерних для освітнього процесу завдань на хмарні технології, наприклад, при створенні міжуніверситетської приватної хмари університетська ІТ інфраструктура централізується та віртуалізується. При такому підході всі обчислювальні ресурси (ОР) можуть бути зібрані в один обчислювальний кластер. Далі він може бути поділений на логічні розділи, тобто віртуальні машини (ВМ). Після чого в міру потреби такі ВМ надаються користувачам. Таким чином, загальні апаратні ресурси закладу вищої освіти або кількох закладів вищої освіти можна використовувати для різних завдань, як навчального плану, так і для наукової роботи.

У [5] автори виклали результати детального огляду перспектив хмарних обчислень у сфері освіти. Авторами звертається увага на той факт, що багато освітніх центрів уже інвестували у власну хмарну інфраструктуру замість того, щоб набувати послуг у третіх сторін. Автори акцентують увагу на тому, що багато навчальних закладів, починаючи від шкіл та закінчуючи закладами вищої освіти, зайняті пошуком кращої приватної хмарної платформи для освіти та наукової діяльності.

У [6] автори представили детальний огляд можливостей закладів вищої освіти у контексті використання ХДТ для організації навчального процесу та наукових досліджень. Результати цієї роботи розглядають процес впровадження ХДТ з погляду мотивації та бар'єрів впровадження хмарних обчислень в закладах вищої освіти.

В [7] авторами представлені результати досліджень, спрямованих на розробку моделі впровадження онлайн-інструментів для спільного навчання з використанням ХДТ. Отримані авторами результати можуть стати основою для постачальників хмарних технологій, орієнтованих на навчальні заклади.

У роботах [8], [9], [10] авторами порушуються деякі аспекти економічної доцільності впровадження хмарних технологій в навчальний процес закладів вищої освіти, а також міжуніверситетське наукове співробітництво.

У [11] автори, проаналізувавши найкращі практики використання хмарних обчислень в закладах вищої освіти та спираючись на особистий досвід у галузі застосування інформаційно-комунікаційних технологій у навчальному процесі закладу вищої освіти, виділили основні ХДТ для підтримки наукової та навчальної діяльності закладу вищої освіти.

Ряд дослідників у своїх роботах [12], [13] зазначає, що завдання прогнозування масштабів використання обчислювальних ресурсів серверів у хмарній інфраструктурі організації, або, наприклад, закладу вищої освіти, є важливим та актуальним.

У [14] роботі викладено результати порівняльного аналізу існуючих підходів та методів у задачі короткострокового прогнозування використання основних ресурсів сервера віртуальними машинами хмарної системи. Автори проаналізували різні моделі. Зокрема, були розглянуті статистична модель для аналізу часових рядів ARIMA [15], однорідні нейронні мережі, такі як LSTM [15], GRU [16], а також гібридні нейронні мережі у вигляді LSTM та CNN [17].

У роботі [18] авторами порушено питання консолідації серверів. Причому акцент зроблено на моделювання оптимального розподілу вихідних серверів між цільовими фізичними серверами з урахуванням реальних обмежень.

У роботі [19] авторами розглядаються завдання, що виникають при побудові центрів обробки хмарних даних на основі інфраструктури віртуальних робочих столів (VDI). У своєму дослідженні автори приділили основну увагу оцінці оптимальної кількості необхідних вузлів кластера віртуалізації. При цьому як базовий критерій прийнятий критерій ефективності.

У роботах [20], [21] торкнуться такого важливого аспекту побудови хмарної інфраструктури організації, як оптимізація розміщення віртуальних машин на фізичних машинах у хмарних центрах обробки даних. Автори досліджують проблематику зниження енергоспоживання та оптимального використання обчислювальних ресурсів, що в сукупності сприяє підвищенню ефективності хмарної інфраструктури.

У роботах [22], [23] розглянуто завдання вибору апаратного забезпечення на формування клієнтських робочих місць. Автори пропонують модель вибору серверних платформ виходячи з обсягу наявної та необхідної оперативної пам'яті для розміщення заданої кількості VM. А для розв'язання задачі запропоновано генетичний алгоритм.

Проте зауважимо, більшість авторів мало зачіпають такий аспект під час оцінки оптимального числа необхідних вузлів кластера віртуалізації, як критерій ефективності. Зокрема, разом із вибором стратегії інвестування в ту чи іншу архітектуру ХОНС закладу вищої освіти. Це й зумовило інтерес до додаткових досліджень у цьому напрямі..

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є розвиток моделі оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації приватної хмари, що використовується у хмарно-орієнтованому навчальному середовищі закладів вищої освіти.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити оптимальний обсяг оперативної пам'яті віртуальних робочих місць в університетській хмарі виходячи зі специфіки навчальної та наукової роботи в ХОНС закладу вищої освіти;
- удосконалити модель оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації ХОНС закладу вищої освіти, прийнявши як критерій оптимальності ефективність використання VM.



МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У роботі використано: генетичний алгоритм у ході вирішення завдання підбору серверного обладнання для формування інфраструктури віртуальних робітників приватної університетської хмари, а також аналітичні методи для розвитку моделі оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації ХОНС закладу вищої освіти.

Генетичний алгоритм визначення обсягу оперативної пам'яті віртуальних робочих місць в університетській хмарі

Перш ніж оцінювати потреби у вузлах кластера віртуалізації ХОНС закладу вищої освіти, визначимо потреби в обсягах оперативної пам'яті віртуальних робочих місць в університетській хмарі. Плануючи для ХОНС закладу вищої освіти певну кількість обчислювальних серверів, VM до уваги зазвичай приймається кінцева вартість рішення. У такому разі це завдання можна виразити у вигляді функції мінімізації вартості із заданими обмеженнями.

Резерв VM на сервері ХОНС – статичний параметр. Запит на VM - це параметр, що динамічно змінюється. І саме запит визначає реальну потребу в ресурсах VM на сервері приватної хмари закладу вищої освіти.

Наприклад, використовують w типи VM. Тип VM визначається розміром жорсткого диска, обсягом ОЗП, кількістю процесорів та ядер процесора тощо. Типи VM позначені як T_1, \dots, T_w .

Кожному користувачеві за необхідності, тобто, на запит буде виділятися x_i ресурсів екземплярів VM, віднесених до типу T_i .

Однією з найважливіших характеристик серверної платформи (СП), на якій розгортаються VM, є оперативна пам'ять (далі ОЗП). Найпростіший варіант нарощування кількості VM можна реалізувати шляхом додавання модулів ОЗП на сервер або на сервери ХОНС. Але сервер є обмеження кількості доступних слотів для ОЗП. Тому краще одразу мати уявлення про характер та потреби тих завдань, які реалізовуватимуться учнями та викладачами за допомогою VM.

Відповідно до роботи [22] цільова функція, що дозволяє вирішувати задачу оптимізації серверної інфраструктури, представлена так:

$$S = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^h \left(co_i + \sum_{j=1}^u n_{ij} \cdot co_{zj} \right) \cdot cir_{il}, \quad (1)$$

де co_i – вартість i -ї серверної платформи (далі за текстом – СП); co_{zj} – вартість j -го додаткового модуля для ОЗП сервера; u – кількість типів пам'яті для ОЗП сервера (наприклад, за частотою, номером покоління та ін.); h – кількість СП приватної хмари закладу вищої освіти; q – кількість варіантів заповнення блоків ОЗП серверів; cir_{il} – кількість модулів ОЗП j -го типу для i -ї СП; n_{ij} – кількість СП у приватній хмарі.

При цьому $q = \sum_{i=1}^h q_i = \sum_{i=1}^h \frac{(u + d_i)!}{d_i! u!}$, де d_i – кількість слотів для планок ОЗП та

СП.

Подальшу оптимізацію можна виконувати для змінних i , які містяться у виразі (1). Обмеження за обсягом ОЗП для конкретної СП відповідно до [22], [23] запишемо так:

$$\sum_{j=1}^u sram_j \cdot n_{ij} \leq h_i, \quad i = 1..cir. \quad (2)$$

Обмеження за кількістю модулів ОЗП, що додаються:

$$\sum_{j=1}^u n_{ij} \leq d_i, \quad i = 1..cir. \quad (3)$$

Обмеження за достатністю ОЗП для СП, що забезпечує функціонування необхідної кількості ВМ [23]:

$$\sum_{i=1}^h \left(\frac{\sum_{j=1}^u sram_j \cdot n_{ij}}{V_{VM}} \right) \geq N_M, \quad (4)$$

де V_{VM} – обсяг ОЗП, що виділяється під одну ВМ; N_M – необхідна кількість ВМ.

Обмеження, яке описує цілісний характер поточного завдання:

$$cir_{il}, n_{ij} \geq 0, \quad cir_{il}, n_{ij} - \text{цілі}. \quad (5)$$

На відміну від робіт [22], [23] параметр co_i – вартості i – й СП платформи будемо розглядати як певний аналог інвестування в серверну інфраструктуру приватної університетської хмари (або ХОНС в цілому). До такої інфраструктури належить безпосередньо сервер/сервери та відповідна кількість ВМ, які розгорнуті на СП.

Зауважимо, що вибір раціональної стратегії інвестування та розміру доцільних інвестицій можна виконати на основі застосування теорії ігор [24]. Так відповідно до [24] визначення вартості (обсягів інвестування в серверну платформу/платформи ХОНС) co_i на відміну [22], [23] у процесі рішення спочатку виходячи з теорії ігор визначаються стратегії зацікавлених сторін.

Як такі сторони можна, наприклад, розглядати: 1) адміністраторів серверної інфраструктури або адміністраторів системи дистанційного навчання (СДН), як це показано на рисунку 1. Адміністратори через свої службові завдання прагнуть максимізувати можливості університетської хмари; 2) фінансова адміністрація закладу вищої освіти. Яка через свої завдання з оптимізації витрат, прагне мінімізувати витрати на обслуговування хмарної інфраструктури закладу вищої освіти та ІТ в цілому.

Динаміка зміни ресурсів сторін описана як системи диференціальних рівнянь, детально наведених у [24] і [25].

Ми реалізували рішення оптимізаційної задачі, описаної виразами (1-5), застосувавши генетичний алгоритм (ГА). У ГА, що використовується, популяція – це множина рішень в ході вибору СП приватної університетської хмари. Ключовим вважалася необхідність додаткового обсягу ОЗП під час нарощування кількості віртуальних робочих місць. На відміну від класичного ГА, в якому застосовують бінарне кодування, в ході дослідження використовувався список для кодування.

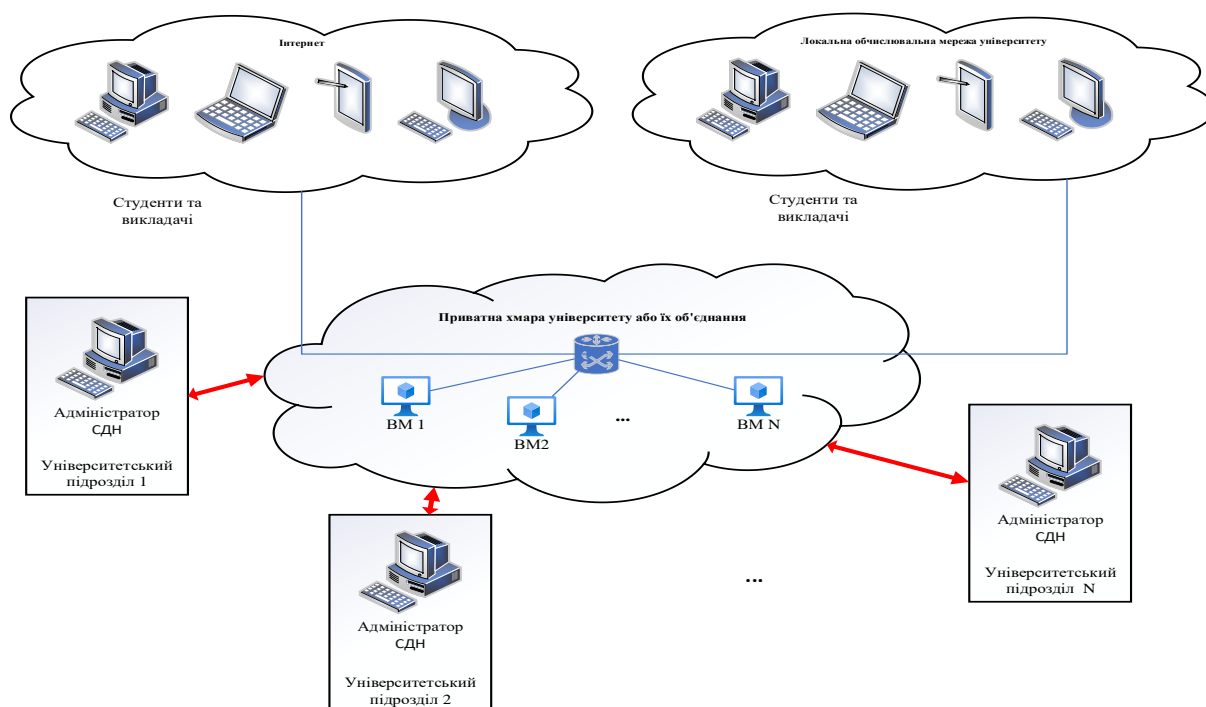


Рис. 1. Типова архітектура університетської хмарної системи дистанційного навчання (СДН)

Елемент списку містить таку інформацію щодо СП ХОНС університету, згідно з [22]: 1) тип СП; 2) набір модулів для ОЗП відповідно до обраної стратегії інвестування у віртуалізацію ХОНС та наявних обмежень, наприклад, фінансових [24]; 3) загальні показники ОЗП (частота, обсяг пам'яті тощо); 4) вартість набору ОЗП для СП.

Кількість генів у хромосомі (ch) приймалося рівним числу елементів списку варіантів наборів планок ОЗП для масштабованої СП.

Вираз (1) використовувався як фітнес функція.

Можливі комбінації наборів ОЗП окремих СП становлять популяцію (POP). При цьому прийнято обмеження щодо кількості мінімально необхідних параметрів сервера (серверів) за обсягом пам'яті та сумарною вартістю модулів ОЗП.

Початкова населення було створено так. Випадково вибирався номер запису в списку наборів ОЗП для сервера/серверів (або СП) приватної університетської хмари. Наприклад, можна використати метод рулетки. Далі до гена, який відповідає даному набору, додаємо «1».

Потім перевіряємо, що хромосома (ch) відповідає обмеженням (3) та (4).

Процедуру повторюємо до тих пір, поки не буде досягнуто необхідних показників за необхідними характеристиками СП. До спеціально згенерованої програми структуру даних заносимо номери (NG) поколінь хромосом (ch).

Розмір популяції залежить кількості хромосом. Для кожної хромосоми (ch) у популяції виконується оцінка пристосованості. Ця процедура виконується за рахунок обчислення фітнес-функції.

Якість хромосом буде тим вищою, чим менше значення фітнес функції. Точку розвитку хромосом вибиралася випадковим чином.

Щодо кожного покоління виконувалася селекція.



«Життєздатні» особини відбиралися виходячи з обмеження (4). Потім виконується ранжування за значенням фітнес-функції (1).

Найкращі особини переносяться без змін у наступні покоління.

Обчислення закінчуються після досягнення заданої кількості поколінь. Як показали обчислювальні експерименти, збіжність алгоритму досягається не менше ніж для п'ятдесяти поколінь.

Модель оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації

Щоб оцінити необхідні ресурси для побудови університетської приватної хмари, яка використовується, наприклад, для організації системи дистанційного навчання (див. рис. 1), побудуємо математичну модель. За основу взята модель, викладена в роботі [18]. Однак доповнимо цю модель даними розрахунків за оптимальною кількістю вузлів кластера. Як критерії оптимальності прийняті - критерій ефективності та обрана стратегія інвестування у розвиток університетської хмари, яка згадана у роботах [24], [25]. При цьому, виходячи зі специфіки роботи ХОНС закладу вищої освіти, врахуємо, що заздалегідь важко прогнозувати момент розгортання та знищення ВМ. Сьогодні найбільш актуальним у процесі навчання є асинхронна організація виконання навчальних завдань студентами. Коли кожен з них може у відведений для виконання роботи відрізок часу самостійно приймати рішення, коли йому зручніше розгорнути ВМ і потім знищити, див. рис. 1. Приклад такої поведінки системи показаний у таблиці 1 для 10 ВМ приватної університетської хмари, що використовується в СДН.

Таблиця 1

Приклад стану ВМ в університетській приватній хмарі СДН

Номер ВМ	Стан ВМ		
	Розгорнуті ВМ	Ті, що в процесі зупинки ВМ	Вимкнені (знищені) ВМ
	2, 5,9,10	1,3,4	6,7,8

При цьому всі ці дії відбуваються в різний час - t .

Як було показано вище, апаратно-програмний комплекс (АПК) приватної університетської хмари включає обчислювальні сервери (серверних платформ – СП з розрахованими раніше на основі ГА параметрами ОЗП). Кожну СП можна описати параметром Pa . Цей параметр включає базові характеристики сервера (СП). Наприклад, таких параметрів віднесені - обсяг ОЗП, тактова частота процесора, кількість ядер процесор тощо. Крім того, кожен із серверів $j \in \{1..N\}$ має ємність C_{jk} для відповідного ресурсу $k \in \{1..Pa\}$.

Кожній віртуальній машині (ВМ – vm) i , яка використовується в навчальному процесі, науковій чи адміністративній задачі ХОНС закладу вищої освіти, потрібна деяка мінімальна кількість ресурсів – r_{ik} . Причому ресурс виділяється з параметрів k . Наприклад, $k=1$ - це параметр процесора, $k=2$ - параметр ОЗП і т.п. Це так званий резерв ресурсів. Якщо сервер не може виділити мінімально потрібну кількість ресурсів за параметрами k , то ВМ не буде розгорнуто.

У час t активні ВМ $Ac(t)$ можуть бути умовно розділені на вже розміщені ВМ – $Pl(t)$, і які потрібно розмістити – $Rd(t)$. Є також вимкнені ВМ – $Re(t)$. Це можна записати так:

$$Ac(t) = \left(\frac{Pl(t)}{Re(t)} \right) \cup Rd(t) \quad (6)$$

Розміщення ВМ приватній університетській хмарі можна описати двома змінними. Перша характеризує кількість віртуальних процесорів, призначених ВМ певного типу T_i . Друга змінна опише зв'язок між сервером та ВМ. Тоді змінна $vm_{ij}(t)=1$ якщо на момент часу t ВМ i , віднесена до типу T_i перебуває на сервері j .

Вважатимемо, що ХОНС умовного університету має в своєму розпорядженні достатній обсяг комплексу віртуалізації. Тоді справедлива рівність:

$$\sum_{j=1}^N vm_{ij}(t) = 1, \forall i \in Ac(t). \quad (7)$$

Кожному типу ресурсів ВМ має бути гарантовано можливість їх розміщення на сервері. Сумарне значення зарезервованих ресурсів ВМ не повинне перевищити ємність сервера за певним ресурсом. Наприклад, об'єм жорстких дисків або ОЗП ВМ всіх типів не може перевищувати ємність сервера C_{jk} .

Це можна записати так

$$\sum_{i \in Ac(t)} vm_{ij}(t) \cdot r_{ik} \leq C_{jk} = 1, \forall j \in 1..N, k = 1..Pa. \quad (8)$$

Далі можна перейти до оцінки необхідних ресурсів усієї приватної університетської хмари. При проектуванні такої приватної університетської хмари фахівці зможуть спрогнозувати майбутнє завантаження ОМ. Як вихідні дані можна взяти кількість користувачів хмари. Це не складно зробити, знаючи кількість студентів, викладачів та статистику з вільних слухачів того чи іншого курсу. Остання актуальна, коли, наприклад, йдеться про дисципліни вільного вибору студентів. І, відповідно, на курс із його завданнями та ВМ може виникнути додаткове навантаження. У найпростішому випадку можна використовувати статичні методи для прогнозування оцінки.

Вважаємо, що при проектуванні такої приватної університетської хмари проектувальнику потрібно розмістити M ВМ на N серверах (СП). Сумарна кількість ресурсів всіх ВМ не повинна перевищувати сумарну кількість ресурсів серверів.

Зауважимо, що завдання оптимального розміщення ресурсів можна трактувати як різновид завдання упаковки стосовно технологій віртуалізації [26]. Це завдання також можна асоціювати із «завданням про упаковку в контейнери» або «завданням про рюкзак» тобто. NP-важкий [27]. Більш детально алгоритми вирішення подібних завдань проаналізовано у роботі [19].

У нашому дослідженні для визначення нижньої межі мінімальної кількості серверів приватної університетської хмари використовуємо рекомендації [27].

Тоді для динамічної оцінки ємності комплексу віртуалізації додамо параметр часу. Вважаємо, що обчислювальні сервери в університетській приватній хмарі мають однакові характеристики. Це цілком природно, оскільки обладнання такого класу закуповується централізовано. Тобто

$$C_{jk} = C_k, \forall j \in 1..N, k = 1..Pa. \quad (9)$$

А раціональну інвестиційну стратегію, визначальну вибір тієї чи іншої варіанта, можна реалізувати, наприклад, скориставшись викладками робіт [24-31]. В яких,

зокрема, як приклад, торкнуться такого аспекту пошуку раціональної за витратами схеми ІТ інфраструктури університету, як підключення та забезпечення захищеного доступу корпоративної мережі об'єкта інформатизації (ОБІ) до зовнішньої мережі. У цих роботах автори детально розглянули різні ситуації, коли фінансові ресурси інвесторів (гравців) спрямовані на вирішення завдання забезпечення захищеного доступу корпоративної мережі ОБІ до зовнішньої мережі за наявності альтернативних схем підключення. Викладені в [24], [25] результати дозволяють і при проектуванні приватної університетської хмари ефективно знаходити раціональні варіанти інвестування в ході аналізу альтернатив. Для пошуку рішення в [24], [25] задіяний математичний апарат багатогранної білінійної гри якості з кількома термінальними поверхнями з почерговими ходами гравців.

На підставі сказаного вище, приймаємо, що споживання ресурсів ВМ в ХОНС університету може змінюватися в часі. І дійсно, для якісного навчання потрібно періодично оновлювати програмне забезпечення, яке стає все більш вимогливим до ресурсів. У момент часу t розіб'ємо безліч планованих для розгортання ВМ на підмножини, які позначимо як $a_1(t), a_2(t), a_3(t)$. Мається на увазі, що $a_1(t), a_2(t), a_3(t)$ – це, відповідно, множини ВМ з великим, середнім і малим навантаженням. Тоді, наприклад, для активних ВМ буде справедлива така система рівнянь:

$$\begin{aligned} a_1(t) &= \{i \in Ac(t) | a_i(t) > C_{CPU} - \mu\}, \\ a_2(t) &= \{i \in Ac(t) | C_{CPU} - \mu \geq a_i(t) > 0,5 \cdot C_{CPU}\}, \\ a_3(t) &= \{i \in Ac(t) | 0,5 \cdot C_{CPU} \geq a_i(t) > \mu\}, \end{aligned} \quad (10)$$

де C_{CPU} – сумарна кількість ресурсів серверів приватної університетської хмари за параметрами процесорів, μ – параметр, що характеризує максимальну завантаженість процесора (CPU) та оперативної пам'яті СП – $0 \leq \mu \leq 0,5$. Останнє справедливо, виходячи з міркування, що з віртуалізації не рекомендовано виділяти на ВМ понад 50% ресурсів процесора і ОЗП сервера.

Нижню оцінку оптимальної кількості серверів для приватної університетської хмари можна подати так:

$$N_1(\mu, t) = |a_1(t)| + |a_2(t)| + \max \left(0, \frac{\left[\sum_{i \in a_1(t)} a_i(t) - \left(C_k \cdot |a_2(t)| - \sum_{i \in a_2(t)} a_i(t) \right) \right]}{C_k} \right) \quad (11)$$

Нижня оцінка оптимальної кількості серверів приватної університетської хмари виглядає так:

$$N(t) = \max \{N_1(\mu, t), N_2(\mu, t), 0 \leq \mu \leq 0,5\} \quad (12)$$

Віртуальний обчислювальний експеримент.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі було проведено віртуальний обчислювальний експеримент. Експеримент проводився на базі приватних хмарних університетських структур – Національного університету біоресурсів та

природокористування України (м. Київ, Україна) та Некомерційного акціонерного товариства "Казахський національний педагогічний університет імені Абая" (м. Алмати, Казахстан).

Тестувалась модель оптимізації кількості вузлів кластера віртуалізації університетських хмар, зазначених навчальних закладів. Як критерій оптимізації кількості вузлів кластера віртуалізації університетських хмар було прийнято критерій ефективності ХОНС.

Модель, описана виразами (1) - (12) була реалізована алгоритмічною мовою Python. Внаслідок чого було визначено потреби в серверній інфраструктурі приватних хмар, зазначених університетів, виходячи з особливостей підготовки фахівців та планованого навчального навантаження. Далі, прийнявши за основний критерій оптимальності ефективність організації ХОНС університетів, було виконано порівняння витрат на створення приватної хмари з альтернативними варіантами організації ХОНС закладів вищої освіти.

Для економічного підрахунку витрат було проаналізовано аналітичні дані цін послуги ІТ-корпорацій, у яких основними характеристиками були кількість ядер процесора, обсяг оперативної пам'яті, обсяг сховища даних, і навіть тип ОС для топології IaaS [1], [2].

Результати моделювання представлені рисунку 2.

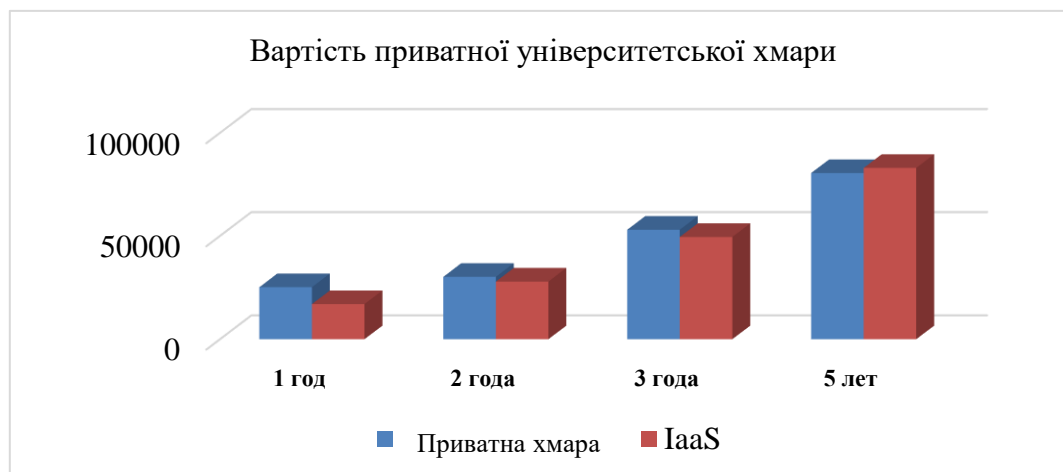


Рис. 2. Результати обчислювальних експериментів

На рисунку 2 показані дані, отримані під час порівняння результатів моделювання вартості у доларах частоті університетської хмари з моделлю - інфраструктура як послуга – IaaS. На вартісні характеристики приватної університетської хмари, як було показано вище, багато в чому впливає оптимізація параметрів кількісних та якісних (CPU, ОЗП та ін) характеристик серверів ХОНС.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За основу було взято аналітичні дані вартості хмари IBM Softlayer. У моделі PaaS всі ресурси (програмне забезпечення, виділення структурних елементів системи) диктуються вендором, тобто обмежуємося вибором того, що пропонує нам ІТ-компанія. Тому цю модель ми поки що не розглядаємо.

У ході проведення віртуального обчислювального експерименту було встановлено таке. При проведенні тестування слід брати до уваги динамічні зміни показників



ресурсів, що споживаються в університетській хмарі. Це пов'язано з тим, що користувачі, залежно від специфіки навчальних або наукових робіт, можуть самостійно запускати та/або зупиняти ВМ у загальному пулі ресурсів ХОНС. У зв'язку з цим, щоб визначити необхідну кількість ресурсів, слід вирішити, в якому діапазоні варіюватиметься кількість запущених в університетській хмарі ВМ. А також як буде змінюватись потреба ВМ у ресурсах ХОНС.

В ході віртуального обчислювального експерименту стало очевидним, що впровадження хмарних технологій та додатків в освітній процес та ІТ інфраструктуру закладу вищої освіти дозволяє суттєво знизити витрати на її супровід. Позитивний ефект насамперед досягається шляхом оптимізації використання апаратних ресурсів та спрощення адміністрування університетської ІТ інфраструктури. Університетська хмара, що складається з віртуальних робочих місць (DaaS) учнів у даному випадку, не стане винятком, оскільки дозволяє централізувати ІТ інфраструктуру університету, а також створити міжуніверситетські хмарні структури, які сприятимуть підвищенню якості навчання. При переході організації процесу від застосування звичайних ПК до віртуальних робочих місць виникає необхідність побудови відповідної профілю закладу вищої освіти інфраструктури віртуальних робочих місць (VDI).

ВИСНОВКИ

Показано, що при проектуванні VDI університетської або міжуніверситетської хмари необхідно вирішувати безліч складних технічних завдань. До одного з таких завдань відноситься завдання оцінки необхідної кількості вузлів кластера віртуалізації, на якому будуть розміщені віртуальні машини (ВМ) користувачів. Ще одним завданням, що виникає в процесі проектування VDI, є алгоритмізації розміщення ВМ в обчислювальній мережі (ОМ). У такому разі оптимальне розміщення ВМ дозволить скоротити кількість вузлів ОМ.

Модель ґрунтується на комбінованому підході. Такий підхід забезпечує синергетичний ефект при спільному розв'язанні задачі про оптимальну упаковку, генетичного алгоритму в ході розв'язання оптимізаційної задачі визначення обсягу оперативної пам'яті віртуальних робочих місць в університетській хмарі. А також використали ігровий підхід для вибору раціональної стратегії інвестування в ХОНС університетів. Запропонована у роботі модель є універсальною та може бути застосована в ході проектування хмарних університетських платформ різного призначення, починаючи від навчального процесу та закінчуючи міжуніверситетськими науковими лабораторіями

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Гриб'юк, О. О. (2013). Перспективи впровадження хмарних технологій в освіті. *Theory and methods of e-learning*, 4, 45-58.
- 2 Dyulicheva, Y. (2013). Упровадження хмарних технологій в освіту: проблеми та перспективи. *Journal of Information Technologies in Education (ITE)*, (14), 058-064.
- 3 Кіпоренко, С. С. (2019). Особливості використання хмарних технологій в освіті. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики: зб. наук. пр. ВНАУ*.
- 4 Dong, T., Ma, Y., & Liu, L. (2012). The application of cloud computing in universities' education information resources management. In *Information Engineering and Applications: International Conference on Information Engineering and Applications (IEA 2011)* (pp. 938-945). Springer London.



- 5 Wagh, N., Pawar, V., & Kharat, K. (2019). Educational Cloud Framework—A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. *У Microservices in Big Data Analytics* (с. 13–27). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0128-9_2.
- 6 Khayyat, M., Elgendy, I. A., Muthanna, A., Alshahrani, A. S., Alharbi, S., & Koucheryavy, A. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. *IEEE Access*, 8, 137052-137062.
- 7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L., Nilashi, M., & Asadi, S. (2019). Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. *Education and Information Technologies*, 24, 79-102.
- 8 Alavi, E., & Mohan, M. C. (2013). An e-learning system architecture based on new business paradigm using cloud computing. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2(10), 2990-2999.
- 9 Buyya, R., Yeo, C. S., & Venugopal, S. (2008, September). Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities. In *2008 10th IEEE international conference on high performance computing and communications* (pp. 5-13). Ieee.
- 10 Chang, V., Bacigalupo, D., Wills, G., & De Roure, D. (2010, May). A categorisation of cloud computing business models. In *2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing* (pp. 509-512). IEEE.
- 11 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *J Internet Serv Appl* 1, 7–18. <https://doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>
- 12 Adamu, H., Mohammed, B., Maina, A. B., Cullen, A., Ugail, H., & Awan, I. (2017, August). An approach to failure prediction in a cloud based environment. In *2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)* (pp. 191-197). IEEE.
- 13 Messias, V. R., Estrella, J. C., Ehlers, R., Santana, M. J., Santana, R. C., & Reiff-Marganiec, S. (2016). Combining time series prediction models using genetic algorithm to autoscaling web applications hosted in the cloud infrastructure. *Neural Computing and Applications*, 27, 2383-2406.
- 14 Hsieh, S. Y., Liu, C. S., Buyya, R., & Zomaya, A. Y. (2020). Utilization-prediction-aware virtual machine consolidation approach for energy-efficient cloud data centers. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 139, 99-109.
- 15 Janardhanan, D., & Barrett, E. (2017, December). CPU workload forecasting of machines in data centers using LSTM recurrent neural networks and ARIMA models. In *2017 12th international conference for internet technology and secured transactions (ICITST)* (pp. 55-60). IEEE.
- 16 Gupta, S., & Dinesh, D. A. (2017, December). Resource usage prediction of cloud workloads using deep bidirectional long short term memory networks. In *2017 IEEE international conference on advanced networks and telecommunications systems (ANTS)* (pp. 1-6). IEEE.
- 17 Ouham, S., Hadi, Y., & Ullah, A. (2021). An efficient forecasting approach for resource utilization in cloud data center using CNN-LSTM model. *Neural Computing and Applications*, 33, 10043-10055.
- 18 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. *IEEE Transactions on Services Computing* 3(4), 266-278.
- 19 Averyanikhin, A.E., Kotelnitsky, A.V. & Muraviev, K.A. (2016). Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualization of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. *International Research Journal*, 5(47). <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.187>.
- 20 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021). Virtual machine placement in cloud data centers using a hybrid multi-verse optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 54, 2221-2257.
- 21 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021). Power efficient virtual machine placement in cloud data centers with a discrete and chaotic hybrid optimization algorithm. *Cluster Computing*, 24, 1293-1315.
- 22 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2017). Zadacha vybora servernyh resursov dlya vnedreniya infrastruktury virtual'nyh rabochih stolov. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 13(4). 26-32.
- 23 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2021). Modificirovannyj geneticheskij algoritm resheniya zadachi vybora servernyh resursov pri formirovanii infrastruktury virtual'nyh rabochih mest. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 17(3), 46-51.
- 24 Akhmetov, B., Lakhno, V., Malyukov, V., Akhmetov, B., Yagaliyeva, B., Lakhno, M., Gulmira, Y. A. (2022). Model for Managing the Procedure of Continuous Mutual Financial Investment in Cybersecurity for the Case with Fuzzy Information. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 93, pp. 539-553.
- 25 Lakhno, V., Malyukov, V., Mazur, N., Kuzmenko, L., Akhmetov, B., Hrebenuk, V. (2020). Development of a model for decision support systems to control the process of investing in information technologies Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(3), pp. 74-81.



- 26 Hochba, D. S. (Ed.). (1997). Approximation algorithms for NP-hard problems. *ACM Sigact News*, 28(2), 40-52.
- 27 Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc.
- 28 Akhmetov, B. S., Lakhno, V., Akhmetov, B. B., Zhilkishbayev, A., Izbasova, N., Kryvoruchko, O., & Desiatko, A. (2022). Application of a Genetic Algorithm for the Selection of the Optimal Composition of Protection Tools of the Information and Educational System of the University. *Procedia Computer Science*, 215, 598–607. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.062>.
- 29 Lakhno, V., Bereke, M., Adilzhanova, S., Chubaievskiy, V., Kryvoruchko, O., Desiatko, A., & Palaguta, K. (2022). GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF SCALING A CLOUD-ORIENTED OBJECT OF INFORMATIZATION. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(7), 1693-1705. ISSN 19928645
- 30 Десятко, А. М., Заворуєва, О.С. (2016). Практична цінність хмаро-орієнтованих технологій в освітній діяльності. У *Modern scientific researches and developments: theoretical value and practical results* (с. 47-48).
- 31 Десятко, А. М. (2016). *Використання хмаро-орієнтованих технологій в організації дистанційної освіти. Дистанційне навчання як сучасна освітня технологія*. РВВ ХТЕІ КНТЕУ.



Valery Lakhno

Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Computer Systems and Networks
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9695-4543
lva964@gmail.com

Miroslav Lakhno

Master's Student
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0001-6979-6076
valss725@gmail.com

Olena Kryvoruchko

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department of Software Engineering and Cyber Security
State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7661-9227
kryvoruchko_ev@knute.edu.ua

Alona Desiatko

PhD in Computer Sciences, Associate Professor of Department of Software Engineering and Cyber Security
State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-2284-3218
desyatko@knute.edu.ua

Vitaliy Chubaievskiy

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, of Department of Software Engineering and Cybersecurity
State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-8078-2652
chubaievskiy_vi@knute.edu.ua

Bakhytzhan Akhmetov

Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Informatics and Informatization of Education
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
ORCID ID: 0000-0001-5622-2233
desyatko@knute.edu.ua

Madina Bereke

PhD Student
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
ORCID ID: 0000-0001-5630-0553
chubaievskiy_vi@knute.edu.ua

A NEURO-GAME MODEL OF STRATEGY ANALYSIS DURING THE DYNAMIC INTERACTION OF PHISHING ATTACK PARTICIPANTS

Abstract. Cloud computing is a dynamically evolving computing paradigm. The demand for cloud applications and technologies has especially increased during the CoVID-19 pandemic and martial law in Ukraine. The main purpose of using cloud applications and technologies is to free users of cloud resources from managing hardware and software. One of the challenges in designing a private university cloud is estimating the required number of virtualization cluster nodes. These hosts host virtual machines (VMs) of users. These VMs can be used by students and teachers to complete academic assignments as well as scientific work. The second task is to optimize the placement of VMs in the computer network (CN) of the university, which makes it possible to reduce the number of CN nodes without affecting functionality. And this ultimately helps to reduce the cost of such a solution to deploy a private university cloud, which is not unimportant for Ukrainian universities under martial law. The article proposes a model for estimating the required number of virtualization cluster nodes for a private university cloud. The model is based on a combined approach that involves jointly solving the problem of optimal packing and finding, using a genetic algorithm, the configuration of server platforms of a private university cloud.

Keywords: information security, phishing, cryptocurrency, game model, artificial neural network.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- 1 Hrybiuk, O. O. (2013). Perspektivy vprovadzhennia khmarnykh tekhnolohii v osviti. Theory and methods of e-learning, 4, 45-58.
- 2 Dyulicheva, Y. (2013). Uprovadzhennia khmarnykh tekhnolohii v osvitu: problemy ta perspektyvy. Journal of Information Technologies in Education (ITE), (14), 058-064.
- 3 Kiporenko, S. S. (2019). Osoblyvosti vykorystannia khmarnykh tekhnolohii v osviti. Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky: zb. nauk. pr. VNAU.
- 4 Dong, T., Ma, Y., & Liu, L. (2012). The application of cloud computing in universities education information resources management. In Information Engineering and Applications: International Conference on Information Engineering and Applications (IEA 2011) (pp. 938-945). Springer London.
- 5 Wagh, N., Pawar, V., & Kharat, K. (2019). Educational Cloud Framework—A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. U Microservices in Big Data Analytics (s. 13–27). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0128-9_2.
- 6 Khayyat, M., Elgendy, I. A., Muthanna, A., Alshahrani, A. S., Alharbi, S., & Koucheryavy, A. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. IEEE Access, 8, 137052-137062.
- 7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L., Nilashi, M., & Asadi, S. (2019). Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. Education and Information Technologies, 24, 79-102.
- 8 Alavi, E., & Mohan, M. C. (2013). An e-learning system architecture based on new business paradigm using cloud computing. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 2(10), 2990-2999.
- 9 Buyya, R., Yeo, C. S., & Venugopal, S. (2008, September). Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities. In 2008 10th IEEE international conference on high performance computing and communications (pp. 5-13). Ieee.
- 10 Chang, V., Bacigalupo, D., Wills, G., & De Roure, D. (2010, May). A categorisation of cloud computing business models. In 2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (pp. 509-512). IEEE.
- 11 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. J Internet Serv Appl 1, 7–18. <https://doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>
- 12 Adamu, H., Mohammed, B., Maina, A. B., Cullen, A., Ugail, H., & Awan, I. (2017, August). An approach to failure prediction in a cloud based environment. In 2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud) (pp. 191-197). IEEE.
- 13 Messias, V. R., Estrella, J. C., Ehlers, R., Santana, M. J., Santana, R. C., & Reiff-Marganiec, S. (2016). Combining time series prediction models using genetic algorithm to autoscaling web applications hosted in the cloud infrastructure. Neural Computing and Applications, 27, 2383-2406.
- 14 Hsieh, S. Y., Liu, C. S., Buyya, R., & Zomaya, A. Y. (2020). Utilization-prediction-aware virtual machine consolidation approach for energy-efficient cloud data centers. Journal of Parallel and Distributed Computing, 139, 99-109.
- 15 Janardhanan, D., & Barrett, E. (2017, December). CPU workload forecasting of machines in data centers using LSTM recurrent neural networks and ARIMA models. In 2017 12th international conference for internet technology and secured transactions (ICITST) (pp. 55-60). IEEE.
- 16 Gupta, S., & Dinesh, D. A. (2017, December). Resource usage prediction of cloud workloads using deep bidirectional long short term memory networks. In 2017 IEEE international conference on advanced networks and telecommunications systems (ANTS) (pp. 1-6). IEEE.
- 17 Ouham, S., Hadi, Y., & Ullah, A. (2021). An efficient forecasting approach for resource utilization in cloud data center using CNN-LSTM model. Neural Computing and Applications, 33, 10043-10055.
- 18 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. IEEE Transactions on Services Computing 3(4), 266-278.
- 19 Averyanikhin, A.E., Kotelnitsky, A.V. & Muraviev, K.A. (2016). Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualization of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. International Research Journal, 5(47). <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.187>.
- 20 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021). Virtual machine placement in cloud data centers using a hybrid multi-verse optimization algorithm. Artificial Intelligence Review, 54, 2221-2257.



- 21 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021). Power efficient virtual machine placement in cloud data centers with a discrete and chaotic hybrid optimization algorithm. *Cluster Computing*, 24, 1293-1315.
- 22 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2017). Zadacha vybora servernyh resursov dlya vnedreniya infrastruktury virtualnyh rabochih stolov. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 13(4), 26-32.
- 23 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2021). Modificirovannyj geneticheskij algoritm resheniya zadachi vybora servernyh resursov pri formirovanii infrastruktury virtualnyh rabochih mest. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 17(3), 46-51.
- 24 Akhmetov, B., Lakhno, V., Malyukov, V., Akhmetov, B., Yagaliyeva, B., Lakhno, M., Gulmira, Y. A. (2022). Model for Managing the Procedure of Continuous Mutual Financial Investment in Cybersecurity for the Case with Fuzzy Information. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 93, pp. 539-553.
- 25 Lakhno, V., Malyukov, V., Mazur, N., Kuzmenko, L., Akhmetov, B., Hrebenuk, V. (2020). Development of a model for decision support systems to control the process of investing in information technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3), pp. 74-81.
- 26 Hochba, D. S. (Ed.). (1997). Approximation algorithms for NP-hard problems. *ACM Sigact News*, 28(2), 40-52.
- 27 Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc.
- 28 Akhmetov, B. S., Lakhno, V., Akhmetov, B. B., Zhilkishbayev, A., Izbasova, N., Kryvoruchko, O., & Desiatko, A. (2022). Application of a Genetic Algorithm for the Selection of the Optimal Composition of Protection Tools of the Information and Educational System of the University. *Procedia Computer Science*, 215, 598–607. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.062>.
- 29 Lakhno, V., Bereke, M., Adilzhanova, S., Chubaievskiy, V., Kryvoruchko, O., Desiatko, A., & Palaguta, K. (2022). GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF SCALING A CLOUD-ORIENTED OBJECT OF INFORMATIZATION. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(7), 1693-1705. ISSN 19928645
- 30 Desiatko, A. M., Zavoruieva, O.S. (2016). Praktychna tsinnist khmaro-orientovanykh tekhnolohii v osvittii diialnosti. U Modern scientific researches and developments: theoretical value and practical results (s. 47-48).
- 31 Desiatko, A. M. (2016). Vykorystannia khmaro-orientovanykh tekhnolohii v orhanizatsii dystantsiinoi osvity. Dystantsiine navchannia yak suchasna osvittia tekhnolohiia. RVV KhTEI KNTEU.

