

**Б. С. АХМЕТОВ¹, В. А. ЛАХНО², Н. Т. ОШАНОВА¹, А. А. ЖИЛКИШБАЕВ³,
М. Б. БЕРЕКЕ^{1*}, Н. Б. ИЗБАСОВА³**

¹*Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан*

²*Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті,
Киев қ., Украина*

³*Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау қ., Қазақстан*
*valss21@ukr.net, bakhytzhan.akhmetov.54@mail.ru, nurzhamal_o_t@mail.ru, askhat.
zhilkishbayev@yu.edu.kz, mdbereke@gmail.com*, nurgul.izbassova@gmail.com*

ЖЕКЕ УНИВЕРСИТЕТТІК БҰЛТТЫҢ ВИРТУАЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРІНДЕГІ ТҮЙІНДЕРІНІҢ МИНИМАЛДЫ САНЫН МОДЕЛЬДЕУ

Бұлтты технологиялар мен есептеулер жетекші университеттердің тәжірибесінің бөлігі болды. Дегенмен, виртуализацияның қажетті кластер түйіндерінің оңтайлы санын бағалау мәселесі әлі де өзекті екенін атап өтеміз. Университеттің жеке бұлттының виртуалды жұмыс үстелі инфрақұрылымын (немесе VDI) жобалау кезінде әзірлеушілер көптеген техникалық қиындықтарға тап болады. Олардың бірі-пайдаланушылардың виртуалды машиналарын (ВМ) орналастыратын виртуализация кластерінің түйіндерінің минималды санын бағалау. Мысалы, бұл ВМ-ді студенттер мен оқытушылар оқу тапсырмаларын орындау үшін пайдаланады. VDI конфигурациясын әзірлеуде туындайтын тағы бір міндет университеттің есептеу желісінде (ЕЖ) ВМ орналастыруды алгоритмдеу міндеті болып табылады. Бұл жағдайда ВМ оңтайлы орналасуы ЕЖ түйіндерінің санын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл ЕЖ жүйесіндегі VDI функционалдылығына әсер етпейді. Бұл тәсіл жеке университеттің бұлтты инфрақұрылымдық шешімі құнын төмендетуге көмектеседі. Соңғысы университеттер үшін маңызды. Мақалада виртуализация кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделі ұсынылған. Ұсынылған модель оңтайлы қаптама және жеке университет бұлттының серверлік платформаларының конфигурациясының генетикалық алгоритм мәселесін қамтитын біріктірілген тәсілге негізделген.

***Түйін сөздер:** бұлтқа негізделген цифрлық білім беру ортасы, университет, виртуализация, виртуалды машиналар, оңтайлы орналастыру, модель.*

1. Кіріспе. Көптеген жылдар бойы жетекші әлемдік университеттердің тәжірибесінде білім беру және ғылыми жұмыстардың тиімділігін арттыру үшін бұлтты қосымшалар мен технологиялары (БұҚТ) қолданылып келеді [1], [2].

БұҚТ -ге сұраныс әсіресе CoVID-19 пандемиясы кезінде өсті. Атап өткендей[1], [2], [3] мамандарды даярлау сапасын жақсартудың, олардың кәсіби құзыреттілік деңгейін арттырудың, инновациялық технологияларды кеңінен қолданудың негізгі шарттарының бірі университеттердің бұлтқа бағдарланған цифрлық білім беру ортасы (БЦБО) болды. БЦБО құралдарын қолдану бұлтқа негізделген ашық ғылым жүйелері арқылы студенттердің жоғары сапалы оқуы мен кәсіби дамуын іс жүзінде жүзеге асыруға ықпал етеді.

* E-mail корреспондирующего автора:mdbereke@gmail.com

2. Алдыңғы зерттеулерге шолу. Жұмыстарда көрсетілгендей [4], [5] оқу процесіне тән тапсырмаларды бұлттық технологияларға аудару кезінде, мысалы, университетаралық жеке бұлтты құру кезінде университеттің АТ инфрақұрылымы орталықтандырылған және виртуалдандырылған. Бұл тәсілмен барлық есептеу ресурстарын (ЕР) бір есептеу кластеріне жинауға болады. Әрі қарай, оны логикалық бөлімдерге бөлуге болады, яғни виртуалды машиналарға (ВМ). Осыдан кейін, қажет болған жағдайда, мұндай ВМ пайдаланушыларға беріледі.

[6-10] авторлар Оқу процесі мен ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру үшін БұҚТ қолдану контекстінде университеттердің мүмкіндіктеріне егжей-тегжейлі шолу жазады. Бұл жұмыстың нәтижелері университеттерде бұлтты есептеулерді енгізудің уәждемесі мен кедергілері тұрғысынан БұҚТ енгізу процесін қарастырады.

Жұмыста [11] авторлар серверлерді біріктіру мәселелерін қозғады. Сонымен қатар, нақты шектеулерді ескере отырып, физикалық мақсатты серверлер арасында бастапқы серверлерді оңтайлы бөлуді модельдеуге баса назар аударылады. Авторлар өз зерттеулерінде виртуализация кластерінің қажетті түйіндерінің оңтайлы санын бағалауға баса назар аударды. Бұл ретте базалық критерий ретінде тиімділік критерийі қабылданды.

Жұмыстарда [13], [14] бұлтты деректерді өңдеу орталықтарында виртуалды машиналарды физикалық машиналарға орналастыруды оңтайландыру сияқты ұйымның бұлтты инфрақұрылымын құрудың маңызды аспектісі қарастырылады. Авторлар бұлтты инфрақұрылымның тиімділігін арттыруға ықпал ететін энергия тұтынуды азайту және есептеу ресурстарын оңтайлы пайдалану мәселелерін зерттейді.

[15], [16] жұмыстарында клиенттік жұмыс орындарын құру үшін аппараттық құралдарды таңдау міндеті қарастырылған. Авторлар берілген ВМ мөлшерін орналастыру үшін қол жетімді және қажетті жедел жад көлеміне негізделген серверлік платформаларды таңдау моделін ұсынады. Мәселені шешу үшін генетикалық алгоритм ұсынылады.

Дегенмен, авторлардың көпшілігі тиімділік критерийі ретінде қажетті виртуалдандыру кластерлік түйіндерінің оңтайлы санын бағалау барысында мұндай аспектіні қозғамайтынын ескереміз. Атап айтқанда, университеттің БЦБО архитектурасына инвестициялау стратегиясын таңдаумен бірге. Бұл осы бағытта қосымша зерттеулер жүргізуге қызығушылық тудырды.

3. Зерттеудің мақсаты мен міндеттері. Зерттеудің мақсаты университеттердің бұлтқа бағытталған оқу ортасында қолданылатын жеке бұлтты виртуалдандыру кластерінің түйіндерінің қажетті санын бағалау моделін дамыту болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1) университеттің БЦБО университетіндегі оқу және ғылыми жұмыстың ерекшелігіне сүйене отырып, университет бұлттындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының оңтайлы көлемін анықтау;

2) ЖМ пайдалану тиімділігін оңтайлы критерий ретінде қабылдай отырып, университеттің БЦБО виртуалдандыру кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделін жетілдіру.

4. Әдістер мен модельдер. Жұмыста: жеке университеттік бұлттың виртуалды жұмысшыларының инфрақұрылымын қалыптастыру үшін серверлік жабдықты

таңдау мәселесін шешу барысында генетикалық алгоритм, сондай-ақ университеттің БЦБО виртуалдандыру кластерінің қажетті санын бағалау моделін дамытудың аналитикалық әдістері қолданылды.

4.1. Университет бұлтындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының көлемін анықтауға арналған генетикалық алгоритм. Университеттің БЦБО виртуализация кластерінің түйіндеріне қажеттілікті бағаламас бұрын, университет бұлтындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жады көлеміне қажеттілігін анықтайық. Университеттің БЦБО үшін есептеу серверлерінің белгілі бір санын жоспарлау кезінде VM әдетте шешімнің соңғы құнын ескереді. Бұл жағдайда бұл тапсырманы берілген шектеулермен шығындарды азайту функциясы ретінде көрсетуге болады.

БЦБО серверіндегі VM резерві-статикалық параметр. VM сұрауы-динамикалық түрде өзгертін параметр. Бұл университеттің жеке бұлт серверіндегі VM ресурстарына нақты қажеттілікті анықтайтын сұрау.

Мысалы, w типті VM қолданылады. VM түрі атты дискінің өлшемімен, жедел жады көлемімен, процессорлар мен процессор ядроларының санымен және т. б. анықталады. VM түрлері T_1, \dots, T_w ретінде белгіленген.

Әрбір пайдаланушыға қажеттілігіне қарай, яғни сұраныс бойынша T_i типке жатқызылған ЖМ даналарының x_i ресурстары бөлінеді.

VM-лар орналастырылған серверлік платформаның (СерП) маңызды сипаттамаларының бірі – жедел жады (бұдан әрі - ЖЖҚ). VM санын көбейтудің қарапайым нұсқасын ЖЖҚ модульдерін серверге немесе БЦБО серверлеріне қосу арқылы жүзеге асыруға болады. Бірақ серверде қол жетімді ЖЖҚ слоттарының санына шектеу бар. Сондықтан VM көмегімен студенттер мен мұғалімдер орындайтын тапсырмалардың мәні мен қажеттіліктері туралы бірден түсінікке ие болған дұрыс.

[15] Жұмысқа сәйкес серверлік инфрақұрылымды оңтайландыру мәселесін шешуге мүмкіндік беретін мақсатты функция келесідей:

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

Мұнда c_i – Серверлік платформа (СерП) i – құны; co_{zj} – ЖЖҚ сервері үшін j – ші қосымша модульдің құны; u – сервер жедел жадына арналған жад түрлерінің саны (мысалы, жиілік, ұрпақ нөмірі және т. б.); h – университеттің жеке бұлтты Серппп саны; q – ЖЖҚ сервер блоктарын толтыру опцияларының саны; cir_{il} – i -ші СерП үшін j – типті ЖЖҚ модульдерінің саны; n_{ij} – жеке бұлттағы СерП саны.

Бұл ретте

$q = \sum_{i=1}^h q_i = \sum_{i=1}^h \frac{(u+d_i)!}{d_i!u!}$, мұнда d_i – i -ші СерПтің ЖЖҚ жолақтарына арналған слоттардың саны.

Әрі қарай оңтайландыруды (1) өрнекте болатын c_{zj} және cir_{il} айнымалылары үшін жасауға болады.

[15], [16] -ге сәйкес нақты серверлік платформа үшін ЖЖҚ көлемі бойынша шектеу:

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

Қосылатын ЖЖҚ модульдерінің саны бойынша шектеу:

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

ВМ қажетті мөлшерінің жұмыс істеуін қамтамасыз ететін СерП үшін ЖЖҚ жеткіліктілігі бойынша шектеу [80]:

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

V_{VM} – бір ВМ-ге бөлінетін ЖЖҚ көлемі; N_M – ВМ қажетті саны.

Ағымдағы тапсырманың бүтін сипатын сипаттайтын шектеу:

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

[79, 80] Жұмыстардан айырмашылығы c_i – параметрі - платформаның i – ші СерП құны жеке университет бұлтының (немесе БЦБО) серверлік инфрақұрылымына инвестиция салудың аналогы ретінде қарастырылады.

Мұндай инфрақұрылымға тікелей сервер/серверлер және серверлік платформаларда орналастырылған тиісті ВМ саны кіреді. Ұтымды инвестициялық стратегияны және тиісті инвестициялардың мөлшерін таңдау ойын теориясын қолдану негізінде жүзеге асырылуы мүмкін [17] екенін айта кетейік.

Сонымен, [17]-ге сәйкес, құнын анықтау үшін (БЦБО серверлік платформасына/платформаларына инвестиция көлемі), [15], [16]-нан айырмашылығы, шешім қабылдау процесінде мүдделі тараптардың стратегиялары алдымен ойын теориясы негізінде анықталады. Мұндай тараптар ретінде, мысалы, мыналарды қарастыруға болады: 1) серверлік инфрақұрылым әкімшілері немесе қашықтықтан оқыту жүйесінің (ҚОЖ) әкімшілері; 2) университеттің қаржы әкімшілігі.

Біз генетикалық алгоритмді (ГА) қолдана отырып (1-5) өрнектермен сипатталған оңтайландыру мәселесін шешуді жүзеге асырдық. Пайдаланылған ГА-да популяция-бұл жеке университет бұлтының СерП таңдау кезінде көптеген шешімдер. Виртуалды жұмыс орындарының санын көбейту кезінде жедел жадтың қосымша көлемінің қажеттілігі маңызды болып саналды. Екілік кодтау қолданылатын классикалық ГА-дан айырмашылығы, осы зерттеуде кодтау тізімі қолданылды.

Тізім элементі университеттің БОО серверінің/серверлерінің платформасына қатысты осындай ақпаратты қамтиды [79 б. 27, 80, б. 47]: СерП типі; БЦБО виртуализацияға инвестициялаудың таңдалған стратегиясына және қолда бар шектеулерге сәйкес жедел жадқа арналған модульдер жиынтығы; ЖЖҚ жалпы көрсеткіштері (жиілігі, жад көлемі және т. б.); СерП үшін ЖЖҚ жиынтығының құны.

Хромосомадағы гендер саны (ch) масштабталатын СерП үшін ЖЖҚ планкаларының жиынтығы нұсқаларының тізімі элементтерінің санына тең.

Өрнек - фитнес функциясы ретінде пайдаланылады.

Жеке СерП жедел жады жиынтығының мүмкін комбинациясы популяцияны (pop) құрайды. Бұл ретте жад көлемі мен ЖЖҚ модульдерінің жиынтық құны бойынша сервердің ең аз қажетті параметрлерінің саны бойынша шектеулер қабылданды.

Бастапқы популяция осылай құрылды. Жеке университет бұлтының сервері/серверлері (немесе СерП) үшін жедел жад жиынтығының тізіміндегі жазба нөмірі

кездейсоқ таңдалды. Мысалы, рулетка әдісін қолдануға болады. Әрі қарай, осы жиынтыққа сәйкес келетін генге "1" қосылады.

Содан кейін хромосома (*ch*) (3) және (4) шектеулерге сәйкес келетінін тексереміз.

Процедура CP қажетті сипаттамалары бойынша қажетті көрсеткіштерге қол жеткізілгенге дейін қайталанады, Бағдарлама арнайы құрған мәліметтер құрылымына хромосомалардың (*ch*) ұрпақтарының нөмірлерін *NG*-ге енгіземіз. Популяция мөлшері хромосомалардың санына байланысты. Популяциядағы әрбір хромосома (*ch*) үшін жарамдылығын бағалау орындалады. Бұл процедура фитнес функциясын есептеу арқылы жүзеге асырылады. Хромосомалардың сапасы неғұрлым жоғары болса, фитнес функциясының мәні соғұрлым аз болады. Хромосоманың бөліну нүктесі кездейсоқ таңдалады.

Әр ұрпаққа қатысты таңдауды орындаймыз.

Біз "өміршен" бірліктерді шектеу негізінде таңдаймыз (4). Содан кейін фитнес функциясының мәні бойынша рейтинг жасалады (1).

Ең жақсы бірліктер келесі ұрпақтарға өзгеріссіз беріледі.

Есептеулер ұрпақтардың белгілі бір санына жеткенде аяқталады. Есептеу эксперименттері көрсеткендей, алгоритмнің конвергенциясы кемінде елу ұрпақ үшін қол жеткізіледі.

4.2. Виртуализация кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделі. Мысалы, қашықтықтан оқыту жүйесін ұйымдастыру үшін пайдаланылатын университеттің жеке бұлтын құру үшін қажетті ресурстарды бағалау үшін математикалық модель құрайық. Негіз ретінде [11] жұмыста көрсетілген модель алынды. Алайда біз бұл модельді кластер түйіндерінің оңтайлы саны бойынша есептеу деректерімен толықтырамыз. Оңтайлылық критерийлері ретінде - тиімділік критерийі және [17] жұмыста айтылған университеттік бұлтты дамытуға инвестициялаудың таңдалған стратегиясы қабылданды. Сонымен қатар, университеттің БЦБО жұмысының ерекшелігіне сүйене отырып, VM орналастыру және жою сәтін алдын-ала болжау қиын екенін ескереміз. Шынында да, бүгінгі таңда оқу процесінде оқушылардың оқу тапсырмаларын асинхронды түрде ұйымдастыруы өзекті болып табылады. Олардың әрқайсысы жұмысты орындау үшін бөлінген уақыт аралығында өз бетінше шешім қабылдай алатын кезде, ол VM-ны орналастырып, содан кейін оны жоюға ыңғайлы болған кезде. Олардың әрқайсысы жұмысты орындау үшін бөлінген уақыт аралығында өз бетінше шешім қабылдай алатын кезде және ол VM-ны орналастырып, содан кейін оны жоюға ыңғайлы болған кезде. Сонымен қатар, бұл әрекеттердің барлығы әртүрлі – t уақытта болады.

Жоғарыда көрсетілгендей, жеке университеттік бұлттың аппараттық-бағдарламалық кешені (АӨК) есептеу серверлерін қамтиды (серверлік платформалар – ЖЖҚ параметрлері га негізінде бұрын есептелген СерП, 4.1-тармақ). Әр СерП параметрмен сипаттауға болады. Бұл параметр сервердің негізгі сипаттамаларын (СерП) қамтиды. Мысалы, мұндай параметрлерге мыналар жатады - жедел жадының көлемі, процессордың тактілік жиілігі, процессор ядроларының саны және т.б. Сонымен қатар, $j \in \{1..N\}$ серверлерінің әрқайсысы тиісті $k \in \{1..P_a\}$ ресурсы үшін C_{jk} сыйымдылығына ие.

Университеттің БЦБО оқу процесінде, ғылыми немесе әкімшілік тапсырмасында қолданылатын әрбір i виртуалды машинаға (ВМ – vm_i) ресурстардың r_{ik} ең минималды мөлшері қажет. Сонымен қатар, ресурс k параметрлерден ерекшеленеді. Мысалы, $k = 1$ бұл процессор параметрі, $k = 2$ – жедел жад параметрі және т. б. Бұл ресурстар резерві деп аталады. Егер сервер k параметрлерге сәйкес ресурстардың минималды мөлшерін бөле алмаса, онда ВМ орналастырылмайды.

t уақытында белсенді ВМ $Ac(t)$ шартты түрде орналастырылған $VM - Pl(t)$ -ге бөлінуі мүмкін және оларды орналастыру қажет – $Rd(t)$. Сондай-ақ, $Re(t)$ ВМ-өшірүлі. Мұны келесідей жазуға болады:

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

ВМ жеке университет бұлттың орналасуын екі айнымалымен сипаттауға болады. Біріншісі белгілі бір T_i түріндегі ВМ тағайындаған виртуалды процессорлардың санын сипаттайды. Екінші айнымалы сервер мен ВМ арасындағы байланысты сипаттайды. Содан кейін $vm_{ij}(t) = 1$ айнымалысы, егер t ВМ i уақытында оның T_i түріне тағайындалған j серверінде орналасады.

Шартты университеттің БЦБО виртуализация кешенінің жеткілікті көлемі бар деп есептейміз. Сонда теңдік әділетті:

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

ЖМ ресурстарының әр түріне оларды серверге орналастыру мүмкіндігіне кепілдік берілуі керек. Резервтелген ВМ ресурстарының жиынтық мәні белгілі бір ресурс бойынша сервердің сыйымдылығынан аспауы тиіс. Мысалы, қатты дискілердің сыйымдылығы немесе барлық типтегі ВМ жедел жады C_{jk} сервердің сыйымдылығынан аспауы керек. Мұны келесідей жазуға болады.

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

Мұндай жеке университеттік бұлтты жобалау кезінде мамандар болашақта ВМ жүктемесін болжай алады. Бастапқы деректер ретінде бұлтты пайдаланушылардың санын алуға болады. Студенттердің, оқытушылардың санын және белгілі бір курстың еркін тыңдаушыларының статистикасын біле отырып, мұны істеу қиын емес.

Біздің зерттеуімізде жеке университет бұлттық серверлерінің минималды санының төменгі шегін анықтау үшін [18] ұсыныстарын қолданамыз. Содан кейін виртуализацияны университеттің жеке бұлттындағы есептеу серверлері бірдей сипаттамаларға ие деп есептейміз. Университет кешенінің сыйымдылығын динамикалық бағалау үшін уақыт параметрін қосамыз. Бұл өте табиғи, өйткені мұндай кластағы жабдықтар орталықтандырылған түрде сатып алынады. Яғни

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

Бір немесе басқа нұсқаны таңдауды анықтайтын ұтымды инвестициялық стратегияны, мысалы, есептеулерді қолдану арқылы жүзеге асыруға болады [17]. Жоғарыда

айтылғандарға сүйене отырып, университеттің БЦБО-да ВМ ресурстарын тұтыну уақыт өте келе өзгеруі мүмкін деп қабылдаймыз. Шынында да, сапалы білім алу үшін барған сайын ресурсты қажет ететін бағдарламалық жасақтаманы мезгіл-мезгіл жаңартып отыру қажет. t уақытында біз орналастыруға жоспарланған көптеген ВМ-ны ішкі жиындарға бөлеміз, оларды $a_1(t)$, $a_2(t)$, $a_3(t)$, деп белгілейміз. Бұл $a_1(t)$, $a_2(t)$, $a_3(t)$ – сәйкесінше, үлкен, орташа және төмен жүктемесі бар ВМ жиынтықтары. Содан кейін, мысалы, белсенді ВМ үшін келесі теңдеулер жүйесі жарамды болады:

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

C_{CPU} – процессор параметрлері бойынша жеке университет бұлттының сервер ресурстарының жалпы саны, μ – процессордың максималды жүктемесін (CPU) және СерП – $0 \leq \mu \leq 0,5$ жедел жадын сипаттайтын параметр. Соңғысы виртуализация кезінде процессор мен сервердің жедел жадының 50%-дан астамын ВМ-ға бөлу ұсынылмайтындығына байланысты дұрыс.

Жеке университет бұлты үшін серверлердің оңтайлы санының төменгі шегін келесідей беруге болады:

$$N_1(\mu, t) = |a_1(t)| + |a_2(t)| + \max\left(0, \frac{[\sum_{i \in a_3(t)} a_i(t) - (c_k \cdot |a_2(t)| - \sum_{i \in a_2(t)} a_i(t))]}{c_k}\right). \quad (11)$$

Жеке университеттің бұлттық серверлерінің оңтайлы санының орташа төменгі шегі келесідей болады:

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

5. Виртуалды есептеу эксперименті. Ұсынылған модельдің сәйкестігін тексеру үшін виртуалды есептеу эксперименті жүргізілді. Эксперимент жеке бұлтты университеттік құрылымдар – Украинаның Ұлттық биоресурстар және табиғат пайдалану университеті (Киев қ., Украина) және "Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті" коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан) негізінде жүргізілді.

Модельдеу нәтижелері 1-суретте көрсетілген.

Нәтижелерді талқылау. Негіз ретінде біз IBM Softlayer бұлттының құны туралы аналитикалық деректерді алдық. Егер әкімші мен бағдарламалық жасақтама құрамының бұлтқа қызмет көрсету құны шамамен 12600 долларды құраса, онда жалпы жылдық шығындар 16500 доллардан асады. Өз алаңдарында орналастыру үшін тиісті инфрақұрылымға (сервер – 2 бірлік, деректер қоймасы – 2 бірлік, желілік жабдық – жалпы құны шамамен 10000\$), оларға қызмет көрсетуге (әкімшінің, инженерлік құрамның жалақысы – шамамен 13000\$) және коммуналдық шығындарға (электр энергиясы, интернет-арна – шамамен 2000\$) біз 25000 доллар көлемінде соманы аламыз. Ұқсас есептеулерді 3-5 жылға ұзарта отырып, біз "академиялық бұлтты" орналастыру үшін баға мағынасында ең тартымды модельді бағалай аламыз (сурет 1). PaaS моделінде барлық ресурстарды (бағдарламалық қамтамасыз ету, жүйенің құрылымдық



1-сурет – Есептеу эксперименттерінің нәтижелері

элементтерін бөлу) жеткізуші белгілейді, яғни біз IT-компания бізге не ұсынатынын таңдаумен шектелеміз. Сондықтан біз бұл модельді әлі қарастырмаймыз.

Қорытынды.

VDI университеттік немесе университетаралық бұлтты жобалау кезінде көптеген күрделі техникалық мәселелерді шешу қажет екендігі көрсетілген. Осындай міндеттердің біріне пайдаланушылардың виртуалды машиналары (VM) орналастырылатын виртуализация кластерінің түйіндерінің қажетті санын бағалау міндеті жатады. VDI жобалау процесінде туындайтын тағы бір міндет-есептеу желісінде (ЕЖ) VM орналастыруды алгоритмдеу міндеті. Бұл жағдайда VM-ді оңтайлы орналастыру ЕЖ түйіндерінің санын азайтуға мүмкіндік береді.

Модель біріктірілген тәсілге негізделген. Бұл тәсіл университет бұлттындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының көлемін анықтау үшін оңтайландыру мәселесін шешу барысында оңтайлы қаптама мәселесін, генетикалық алгоритмді бірлесіп шешуде синергетикалық әсерді қамтамасыз етеді. Сондай-ақ университеттердің БЦБО-қа инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдау үшін ойын тәсілі қолданылды.

Зерттеу ИРН АР19678846 «Цифрлық трансформация жағдайында жоғары оқу орындарының инфрақұрылымын дамыту негізінде оқу процесін ұйымдастырудың гибриді және қашықтықтан нысандарының тиімділігін арттыру» жобасы бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТ

1 Gayratovich, E. N. (2022) The Theory of the Use of Cloud Technologies in the Implementation of Hierarchical Preparation of Engineers. Eurasian Research Bulletin, 7, pp.18-21.

2 Rasuleva, M., & Alieva, N. (2023, April) The Importance of Cloud Technologies in Modern Education. In International Conference on Higher Education Teaching, Vol. 1, No. 1, pp. 4-11.

3 Almaiah, M. A., & Al-Khasawneh, A. (2020) Investigating the main determinants of mobile cloud computing adoption in university campus. *Education and Information Technologies*, 25, pp.3087-3107.

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. (2020) Educational Cloud Framework –A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. *Microservices in Big Data Analytics: Second International, ICETCE 2019, Rajasthan, India, February 1st-2nd 2019, Revised Selected Papers*, pp.13-27.

6 Khayyat, M., Elgendy, I. A. et al. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. *IEEE Access*, 8, pp.137052-137062.

7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L. et al. (2019) Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. *Education and Information Technologies*, 24, pp.79-102.

8 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R (2010) Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *J Internet Serv Appl* 1, pp.7–18

9 Adamu, H., Mohammed, B. (2017) 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.

10 IMessias, 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, pp. 2383-2406.

11 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. *IEEE Transactions on Services Computing* 3(4), pp.266-278.

12 Averyanikhin, A.E. et al. (2016) Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualizations of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. *International Research Journal*, 5(47).

13 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, pp.2221-2257.

14 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, pp. 1293-1315.

15 Проскурин Д.К., Маковий К.А. (2017) Задача выбора серверных ресурсов для внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 13(4) стр. 26-32

16 Проскурин Д.К., Маковий К.А. (2021) Модифицированный генетический алгоритм решения задачи выбора серверных ресурсов при формировании инфраструктуры виртуальных рабочих мест. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 17(3), стр. 46-51.

17 Akhmetov, B. (2022) A 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.

18 Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc.

REFERENCES

1 Gayratovich, E. N. (2022) The Theory of the Use of Cloud Technologies in the Implementation of Hierarchical Preparation of Engineers. *Eurasian Research Bulletin*, 7, pp.18-21.

2 Rasuleva, M., & Alieva, N. (2023, April) The Importance of Cloud Technologies in Modern Education. In *International Conference on Higher Education Teaching*, Vol. 1, No. 1, pp. 4-11.

3 Almaiah, M. A., & Al-Khasawneh, A. (2020) Investigating the main determinants of mobile cloud computing adoption in university campus. *Education and Information Technologies*, 25, pp.3087-3107.

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. (2020) Educational Cloud Framework –A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. *Microservices in Big Data Analytics: Second International, ICETCE 2019, Rajasthan, India, February 1st-2nd 2019, Revised Selected Papers*, pp.13-27.

6 Khayyat, M., Elgendy, I. A. et al. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. *IEEE Access*, 8, pp.137052-137062.

7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L. et al. (2019) Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. *Education and Information Technologies*, 24, pp.79-102.

8 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R (2010) Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *J Internet Serv Appl* 1, pp.7–18

9 Adamu, H., Mohammed, B. (2017) 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.

10 IMessias, 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, pp. 2383-2406.

11 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. *IEEE Transactions on Services Computing* 3(4), pp.266-278.

12 Averyanikhin, A.E. et al. (2016) Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualizations of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. *International Research Journal*, 5(47).

13 Gharehpusha, S., Masdari, M., Jafarian, A. (2021) Virtual machine placement in cloud data centers using a hybrid multi-verse optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 54, pp.2221-2257.

14 Gharehpusha, 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, pp. 1293-1315.

15 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), pp.26-32.

16 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), pp. 46-51.

17 Akhmetov, B. (2022) A 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.

18 Martello, S., & Toth, P. (1990). Knapsack problems: algorithms and computer implementations. John Wiley & Sons, Inc.

**Б. С. АХМЕТОВ¹, В. А. ЛАХНО², Н. Т. ОШАНОВА¹, А. А. ЖИЛКИШБАЕВ³,
М. Б. БЕРЕКЕ¹, Н. Б. ИЗБАСОВА³**

¹ *Казахский Национальный педагогический университет имени Абая,
г. Алматы, Казахстан*

² *Национальный университет биоресурсов и природопользования, г. Киев, Украина*

³ *Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова,
г. Актау, Казахстан*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА УЗЛОВ КЛАСТЕРА ВИРТУАЛИЗАЦИИ ЧАСТНОГО УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБЛАКА

Облачные технологии и вычисления уже давно вошли в практику ведущих университетов. Однако заметим, что до сих пор остается актуальной проблематика оценки оптимального числа необходимых узлов кластера виртуализации. Проектируя инфраструктуру виртуальных рабочих столов (или VDI) университетского частного облака, разработчики сталкиваются со множеством технических задач. Одна из них – оценивание минимального требуемого числа узлов кластера виртуализации, на которых размещают виртуальные машины (ВМ) пользователей. Эти ВМ, например, используются учащимися и преподавателями для выполнения учебных заданий. Еще одной задачей, которая возникает в разработке конфигурации VDI, является задача по алгоритмизации размещения ВМ в вычислительной сети (ВС) университета. В таком случае оптимальное размещение ВМ, позволяет минимизировать количество узлов ВС. И это не влияет на функциональность VDI в ВС. Такой подход будет способствовать сокращению стоимости решения по использованию инфраструктуры частного университетского облака. А последнее немаловажно для университетов. В статье предложена модель оценки требуемого количества узлов кластера виртуализации. Предлагаемая модель основана на комбинированном подходе, который предполагает совместное решение задачи об оптимальной упаковке и нахождение с помощью генетического алгоритма конфигурации серверных платформ частного университетского облака.

Ключевые слова: *облачно-ориентированная цифровая образовательная среда; университет; виртуализация, виртуальные машины, оптимальное размещение, модель.*

**B. S. AKHMETOV¹, V. A. LAKHNO², N. T. OSHANOVA¹, A. A. ZHILKISHBAYEV³,
M. B. BEREKE¹, N. B. IZBASOVA³**

¹ *Abay Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

² *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

³ *Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau,
Kazakhstan*

MODELING OF THE MINIMUM NUMBER OF NODES OF A PRIVATE UNIVERSITY CLOUD VIRTUALIZATION CLUSTER

Cloud technologies and computing have long been part of the practice of leading universities. However, we note that the problem of estimating the optimal number of necessary nodes of a virtualization cluster still remains relevant. When designing the virtual desktop infrastructure (or VDI) of a university private cloud, developers face many technical challenges. One of them is to estimate the minimum required number of virtualization cluster nodes on which users' virtual machines (VMs) are hosted. These VMs, for example, are used by students and teachers to complete training tasks. Another task that arises in the development of the VDI configuration is the task of algorithmizing the placement of the VM in the computer network (CN) of the university. In this case, the optimal placement of the VM allows you to minimize the number of nodes of the aircraft. And this does not affect the functionality of VDI in the sun. This approach will help reduce the cost of a solution for using the infrastructure of a private university cloud. And the latter is important for universities. The article offers a model for estimating the required number of virtualization cluster nodes. The proposed model is based on a combined approach, which involves jointly solving the problem of optimal packaging and finding the configuration of server platforms of a private university cloud using a genetic algorithm.

Keywords: cloud-oriented digital educational environment; university; virtualization, virtual machines, optimal placement, model.