

М. М. Климаш, І. В. Демидов, Мохамед Мехді Ель Хатрі, Ю. Л. Дещинський  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДОСТУПНОСТІ У ХМАРНИХ СЕРВІСНИХ СИСТЕМАХ

© *Климаш М. М., Демидов І. В., Мохамед Мехді Ель Хатрі, Дещинський Ю. Л., 2016*

Наведено результати числового моделювання сервісної доступності хмарних сервісних систем для різних їх конфігурацій, характеристик трафіку та режимів роботи, а також проведено оцінювання ефективності застосування запропонованого методу підвищення показників доступності вузлів хмарної платформи.

Ключові слова: SDP, структурно-функціональний синтез, хмарні обчислення, розподілені сервісно-орієнтовані платформи.

M. Klymash, I. Demydov, Mohamed Mehdi El Hatri, Yu. Deshchynskiy  
Lviv Polytechnic National University

## THE INVESTIGATION OF THE AVAILABILITY AT CLOUD SERVICE SYSTEMS

© *Klymash M., Demydov I., Mohamed Mehdi El Hatri, Deshchynskiy Yu., 2016*

This paper is devoted to the numerical investigation of the availability at cloud service systems. In this paper criteria and constraints calculations were performed and obtained results were analyzed for synthesis purposes of distributed service platforms based on the cloud service-oriented architecture such as availability and system performance index variations by defined set of the main parameters. The method of synthesis has been numerically generalized considering the type of service workload in statistical form by Hurst parameter application for each integrated service that requires implementation within the service delivery platform, which is synthesized by structural matching of virtual machines using combination of elementary servicing components up to functionality into a best-of-breed solution. As a result of restrictions from Amdahl's Law the necessity of cloud-networks clustering was shown, which makes it possible to break the complex dynamic network into separate segments that simplifies access to the resources of virtual machines and, in general, to the "clouds" and respectively simplifies complex topological structure, enhancing the overall system performance. In overall, proposed approaches and obtained results numerically justifying and algorithmically describing the process of structural and functional synthesis of efficient distributed service platforms, which under process of their configuring and exploitation provides an opportunity to act on the dynamic environment in terms of comprehensive services range and nomadic users' workload pulsing. It was also proved that using proposed approach and algorithm promotes us to determine structural-topological changes operatively in dynamics. It allows improving workload balancing in the servicing nodes, avoiding the proximity of workflows and components of complex services to structural irregularities. The whole spatial workflow distribution on the servicing network is optimized and smoothed in accordance with operatively determined workload and structural features.

**Cloud system service node's availability is improved. Prospective usage of proposed algorithm is looking effectively within distance-vector routing protocols (such as BGP) and, in particular at hyperbolic virtual coordinates mapping, where hyper-aggregation of the flows on the edges of Poincare disk's irregularities is observed.**

**Key words: SDP, structural-functional synthesis, cloud computing, cloud service delivery platform, distributed service platforms.**

### Вступ

Сучасна парадигма організації інфокомунікаційних систем для надання електронних сервісів передбачає поступову трансформацію традиційного підходу до побудови захищених приватних мереж, а також управління ними на основі використання загальнодоступних телекомунікаційних ресурсів. Очевидно, що активна участь у такому процесі приватних мережевих операторів забезпечує утворення глобальної хмарної обчислювальної інфраструктури. Зазвичай у хмарному мережевому середовищі традиційні функції та послуги, наприклад, зв'язність (мережева доступність), безпека, мережеве управління та моніторинг представляють як його невід'ємні сервіси, тобто сервіси самої хмарної інфокомунікаційної платформи. Сьогодні відбуваються трансформації у хмарних мережевих системах з переходом від процесу мережевої конвергенції та утворення сегментів виду Cloud-Enabled Networking (CEN) до єдиного мережевого середовища Cloud-Based Networking (CBN). Перша категорія інфокомунікаційних систем CEN переносить аспекти мережевого управління, зокрема визначення функціональних політик безпеки тощо, в "хмару", проте залишає підтримування мережевої доступності обладнання телекомунікаційної системи, потоковий менеджмент (маршрутизацію, комутацію та безпеку інформаційних потоків) на локальному рівні, як правило, реалізуючи ці функції апаратно, як у більшості сучасного мережевого обладнання.

Упровадження сучасних широкосмугових мережевих сервісів та, зокрема, концепції Internet of Things (IoT) істотно змінює кут зору на сервіси та інфраструктуру сервісних мережевих систем, зміщуючи усі мережеві функції адресації та управління потоками до сфери впливу хмарного середовища, нівелюючи потреби у локальному мережевому обладнанні, що не є програмно-конфігурованим (SDN) або ж безпосередньо не забезпечує з'єднання з мережами зв'язку (Internet'ом). Цю категорію інфокомунікаційних систем – CBN розвивають у своїй діяльності такі компанії, як Petriano та Aryaka [1]. Пропонується визначення Network-as-a-Service (NaaS) для узагальнення наведених властивостей CBN інфокомунікаційних систем [2]. В роботах [3–6] розглядаються підходи до організації CEN систем, зокрема в частині оптимізації роботи відповідного телекомунікаційного обладнання. Концепції SDN, віртуалізації мережевих функцій, як розподілених платформ, так і елементів сервісної мережевої інфраструктури, є базисом для опису та досліджень CBN сервісних систем [7]. У роботах [8–9] виконано структурно-параметричні дослідження хмарних сервісних систем й отримано аналітичні залежності основних показників їх функціонування, а також якості сервісу (як деякої функції від джитера, часу затримки пакетів, пропускну здатності системи, ймовірності втрати пакетів). Щоб виявити можливості покращення якості сервісу за рахунок підвищення показників доступності телекомунікаційних вузлів хмарної платформи, на основі пропозицій [10] промодельовано застосування запропонованого методу динамічної корекції маршрутних метрик із наскрізним структурним трасуванням у масштабованих сервісних мережевих системах. Для виконання синтезу ефективних систем надання електронних сервісів за критерієм сервісної доступності (яка враховує показники надійності та живучості, а також інтегральної QoS) необхідно якісно дослідити числові характеристики доступності у хмарних сервісних системах. Для моделювання цих характеристик у цій роботі використано результати та функціональні залежності, отримані в [11]. Поєднання результатів, які пропонуються в цій публікації, уможливує оцінювання альтернативних підходів щодо побудови сегментів хмарних сервісних систем із необхідними параметрами для ефективного опрацювання стратегій їх розвитку та вдосконалення.

**Метою** роботи є моделювання сервісної доступності хмарних сервісних систем для різних їх конфігурацій, характеристик трафіку та режимів роботи, а також оцінювання ефективності застосування запропонованого методу підвищення показників доступності вузлів хмарної платформи.

## **Оцінювання ефективності методу підвищення доступності вузлів хмарної платформи**

Висловимо гіпотезу про те, що алгоритмічна реалізація методу [10] в процесі управління потоками буде ефективною для масштабованих та високонавантажених потоками запитів сервісних мережевих систем. Очевидно, що будь-яка хмарна система володіє зовнішніми мережевими інтерфейсами для обслуговування множини користувачів або взаємопід'єднання до інших мереж. Граничні маршрутизатори (Border gateways), як правило, реалізовані за підтримки Border Gateway Protocol (BGP). Враховуючи результати досліджень надійності маршрутизації, апаратних відмов, відмов ліній зв'язку транспортної телекомунікаційної підсистеми та збоїв у роботі самого протоколу BGP, можемо розглядати неправильне конфігурування маршрутизаторів та відмови BGP як основні причини недоступності хмарних систем [12]. Отже, використання відмовостійких підходів до конфігурування та підтримування BGP маршрутизації значно покращує хмарну доступність. Сьогодні якість телекомунікаційних засобів дає змогу не розглядати фізичні властивості елементів розподілених платформ надання сервісів. Власне, протокол маршрутизації BGP часто класифікується як протокол “вектора шляху”, але інколи його розглядають також як дистанційно-векторний. Оскільки він широко використовується для обслуговування потоків користувачів як всередині, так і зовні хмарної системи, повільна реакція на реструктуризацію мережі та відмови її елементів, а також, як наслідок, нестабільність логіки надання сервісів істотно впливають на системну працездатність (робастність) та продуктивність. Подібно впливає також його реакція на зміни у обсягах навантаження та структури самої сервісної платформи.

Можна зробити висновок, що розроблення та імплементація методу, який забезпечує найоперативніше визначення структурних змін, а отже – і відмов мережевих елементів, а також флуктуацій обсягів трафіку в системі, що призводять до його дизбалансування, – є логічним кроком до розвитку хмарних технологій. Це дає змогу уникнути надлишкового завантаження деяких вузлів хмарної сервісної системи, а отже, – їх недоступності.

Для моделювання роботи алгоритму ми визначили та формалізували розподілену мережеву систему з метою ефективного вирівнювання навантаження на сервісні вузли. Ми застосували відомі алгоритми визначення внутрішніх та зовнішніх граней графу мережевої системи [13]. В результаті всі граничні вузли увійшли до відповідних множин вершин, причому вершини зовнішніх граней виділено окремо для відділення внутрішніх системних неоднорідностей. Зазначимо, що вхідними даними для коректної роботи алгоритмів [13] є застосування планарного графу, зведення до якого можливо виконати на основі результатів, які отримано у [14]. Після таких дій можемо встановити вагові коефіцієнти маршрутних метрик всередині хмарної системи, які дорівнюють 1.0 ( $w = 1$ ).

Отже, отримуємо множини вершин, які належать кожному з периметрів (або границь) хмарної системи. Внутрішні грані (периметри) є структурно неоднорідними. Також вузли, що належать до внутрішніх границь системи, є найближчими до ядра хмарної платформи та основних компонентів сервісів, які вона надає, тому ці вузли зазнають найбільших перевантажень або структурних збурень. Очевидно, що вузли, які належать до зовнішніх границь системи, є об'єктами складних методів управління потоками та працюють як шлюзи. Отже, можливе виникнення потенційно невикористаних ресурсів, що мають бути розміщені між внутрішніми та зовнішніми границями хмарної системи. Відповідно, деякі обсяги потокового трафіку та сервісних компонентів можуть бути перенесені або мігрувати від більш завантажених до менш завантажених сервісних вузлів. У випадку, коли виявляється аномальне завантаження в структурі сервісної мережевої системи у вузлах, що не належать її границям, для прикладу, внаслідок серйозних змін у логіці надання сервісів або відмов елементів структури платформи надання сервісів, відповідні сервісні потоки також повинні мігрувати.

Приймаючи описану вище гіпотезу, ми вибирали для модельованої хмарної системи доступну вершину на зовнішній грані її графу. Після цього було застосоване наскрізне маршрутне трасування

за принципом наступного стрибка в напрямі, що є протилежним до початкового вузла, який відповідає вибраній вершині. Процес маршрутного трасування тривав, допоки не був досягнутий вузол, що належить зовнішній або внутрішній границі хмарної платформи.

У результаті цього фіксуємо проходження за маршрутом  $R$  та його довжину  $L$ . Знаючи маршрут, який було пройдено, зафіксувавши параметри завантаженості відповідних вузлів та каналів зв'язку, а також використовуючи його у зворотному напрямі, ми повертаємось назад до початкового вузла та одночасно коректуємо вагові коефіцієнти маршрутних метрик  $w$  у відповідних вузлах, які входили до складу останнього пройденого маршруту  $R$ , використовуючи метод модифікованого ковзного середнього з  $L$  як довжину пройденого маршруту:

$$w_{new}^k = \begin{cases} \frac{2/L \times |L/2 - k| + (n-1) \cdot w_{old}^k}{n}, & \sum_{i=2}^{\lfloor L/2 \rfloor} (w_{old}^i - w_{old}^{i-1}) + \sum_{i=\lfloor L/2 \rfloor + 1}^L (w_{old}^{i-1} - w_{old}^i) \leq e; \\ \frac{(1 - (2/L \times |L/2 - k|)) + (n-1) \cdot w_{old}^k}{n}, & \sum_{i=2}^{\lfloor L/2 \rfloor} (w_{old}^i - w_{old}^{i-1}) + \sum_{i=\lfloor L/2 \rfloor + 1}^L (w_{old}^{i-1} - w_{old}^i) > e, \end{cases} \quad (1)$$

де  $k$  є послідовним номером вузла у маршруті  $R$ ;  $w_{new}^k$  є модифікованим ваговим коефіцієнтом відповідної маршрутної метрики;  $w_{old}^k$  є його попереднім значенням;  $n$  прийнято як значення згладжувального інтервалу (встановлене таким, що дорівнює 3);  $e$  є пороговим значенням для процесу наскрізного структурного маршрутного трасування (для моделювання прийнято значення 0,4) [10].

Зазначимо, що алгоритмом маршрутизації інформаційних потоків передбачено, що кращий маршрут повинен мати меншу маршрутну метрику. Після повного виконання описаного циклу, який можна реалізувати централізованою імплементацією алгоритму, наведеного на рис. 1, ми неперервно повертаємось на його початок і процес повторюється для іншого початкового вузла. Після деякої кількості ітерацій загальний структурний розподіл потоків у графі буде оптимізуватись відповідно до оперативного балансування навантаження та структурних особливостей хмарної платформи згідно із системою співвідношень (1).

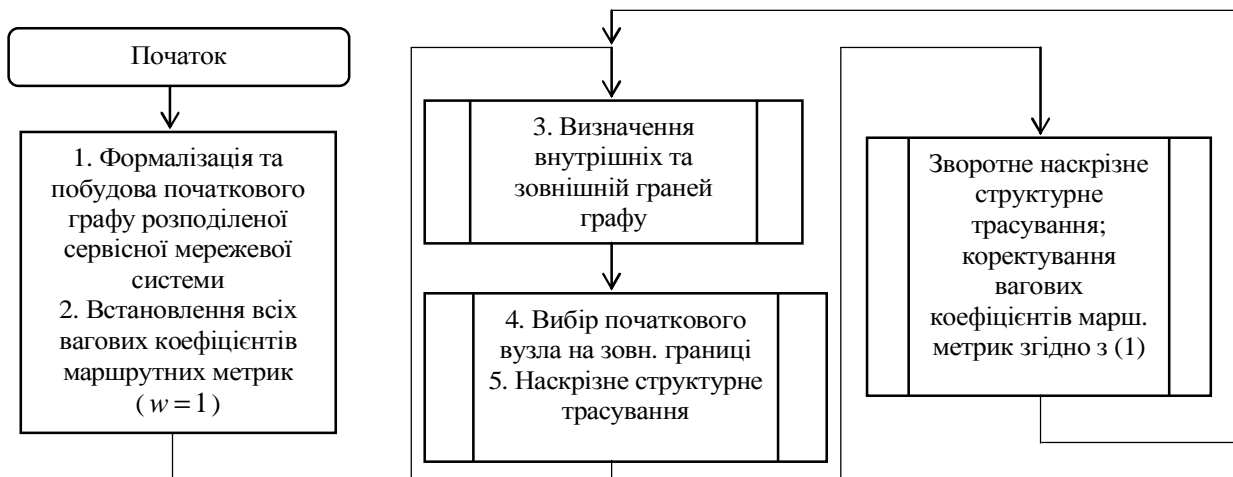
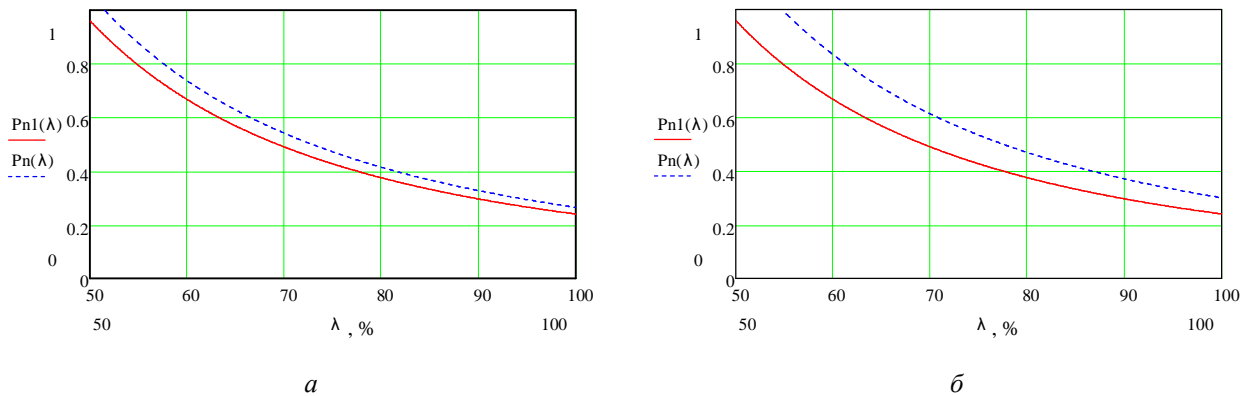


Рис. 1. Алгоритм коректування вагових коефіцієнтів маршрутних метрик для балансування сервісного навантаження за допомогою наскрізного структурного трасування у хмарній мережевій платформі

Модельовану хмарну мережеву систему досліджено із використанням системи MATLAB у двох варіантах масштабу – для 50 та 100 сервісних вузлів. Результати моделювання подано на рис. 2, а, б відповідно.



*Рис. 2. Результати комп'ютерного моделювання ефективності застосування алгоритму динамічної корекції маршрутних метрик із наскрізним структурним трасуванням у хмарній мережевій платформі з: а – 50; б – 100 сервісними вузлами:  $\lambda$  – відносне навантаження хмарної платформи у відсотках до максимального;  $P_n$  – доступність вузла телекомунікаційної хмарної платформи з дистанційно-векторною маршрутизацією;  $P_{n1}$  – доступність вузла телекомунікаційної хмарної платформи за умови застосування запропонованого алгоритму*

Як можна бачити з рис. 2, застосування запропонованого підходу та алгоритму пропонує нам оперативну і динамічно визначати структурно-топологічні зміни в хмарній сервісній платформі, а це дає змогу покращити балансування навантаження у сервісних вузлах, виконуючи плавну міграцію основних інформаційних потоків та, відповідно, сервісних компонентів з областей системи із високим завантаженням і структурними неоднорідностями. Доступність сервісних вузлів у хмарній сервісній системі підвищується до 4 % у масштабі хмарної платформи в межах 50 сервісних вузлів, а динаміка покращення зростає до 10 % у масштабі хмарної платформи в межах 100 сервісних вузлів.

### **Моделювання сервісної доступності в масштабованих хмарних сервісних мережах**

Структурно-функціональна цілісність сучасної парадигми хмарних мережових обчислень важлива для побудови масштабованих та надійних сервісних платформ із використанням сервісно-орієнтованої архітектури (SOA). Існує багато застосувань, які використовують цю архітектурну концепцію для того, щоб стати ефективнішими у світі, де більшість бізнес-процесів паралельні: електронний бізнес, електронна комерція, персональний зв'язок та інші [9, 15] і такі мережеві концепти останніми роками набувають все більшого поширення. Внаслідок високої складності проектування, а також високої комерційної вартості таких мережових рішень в [11] ми розробили аналітичний метод синтезу з метою оптимізації структурних та функціональних параметрів із заданими обмеженнями для типових хмарних платформ надання сервісів (SDP).

Очевидно, що хмарні сервісні системи сьогодні набули поширення на ринку, роблячи електронний бізнес ефективнішим та масштабованішим [15]. Найвідоміші на ринку інфокомунікаційних систем рішення від Microsoft (Microsoft Azure), Google (Google Apps Engine), Amazon (Elastic CloudComputing, Simple Storage Service), IBM (Blue Cloud), Nimbus, Oracle та інші. Окрім великих корпоративних хмарних систем, хмарні обчислювальні сервіси надають також невеликі інфокомунікаційні оператори. Існують також доступні або безкоштовні хмарні рішення, такі як iCloud, Cloudo, FreeZoho, SalesForce тощо. Всі вони відрізняються за переліком пропонованих послуг, а також за типом сервісу, що надають: SaaS (software as a service – програмне забезпечення як сервіс), PaaS (platform as a service – платформа як сервіс) та IaaS (infrastructure as a service –

інфраструктура як сервіс). Для випадку завершеної трансформації інфраструктури від CEN до CBN парадигми виділяють також HaaS (hardware as a service – обладнання як сервіс). Незважаючи на різноманіття сервісів (котрі загалом називають XaaS), існує кілька типових апаратних та програмних засобів, що використовуються як базиси для побудови хмарних систем. Вони забезпечують функціонування системи, що побудована на основі SOA архітектури, а реалізована як множина віртуалізованих сервісних вузлів або віртуальних машин, що реплікуються задля масштабування та підтримки деякої множини електронних сервісів із гнучкістю та відповідно до користувацьких потреб.

Апаратні та програмні засоби хмарної обчислювальної платформи іноді можуть функціонувати нестабільно або ненадійно внаслідок недосконалості або деградації за деякими статистичними законами. Для мінімізації такої ймовірності та зменшення часу відновлення нормального процесу надання сервісів у хмарному обчислювальному середовищі необхідно застосовувати спеціальні принципи, більшість з яких характерні для реалізації процесів розподіленого оброблення даних (резервування, паралелізація, перерозподіл обчислювальних ресурсів тощо).

Описані підходи націлені на часткове приховування від користувачів реальної ситуації щодо системної доступності, щоб створити ілюзію безвідмовного функціонування розподіленої сервісної платформи. Незважаючи на це, існує статистика відмов хмарних платформ надання сервісів [16]. Вона свідчить, що можливі ситуації, коли використані у SDP рішення для забезпечення високої сервісної доступності стають неефективними. Аналізуючи глибше, можна також зауважити, що системна недоступність може бути не єдиним наслідком відмов хмарних систем. У випадку відмови Microsoft Sidekick були втрачені персональні дані користувачів, які згодом відновили, але не повною мірою [16].

Незважаючи на високий рівень реалізації загальновідомих рішень для підвищення доступності в сервісних системах, сьогодні хмарні системи все ще продовжують аналізувати, щоб виявити вузькі місця в їх SOA, з метою підвищення надійності їх роботи, рівня сервісної доступності, системної продуктивності [17, 18]. Можна стверджувати, що актуальність досліджень за цією тематикою доволі висока.

Отже, щоб виконати моделювання сервісної доступності в масштабованих хмарних сервісних мережах, визначимо як термін “структурні параметри” кількісні показники щодо елементарних сервісних компонентів, які у певний спосіб сконфігуровані у структурі віртуальних машин на вузлах телекомунікаційної хмарної платформи. Структура мережевих з’єднань та фізична топологія мережі визначені нечітко, що характерно для хмарних систем, відрізняючи їх від традиційних мережевих архітектур. Загалом, топологічна конфігурація віртуальних машин є динамічно-змінною, як і конфігурація пропонованої та запитуваної множини сервісів. Віртуальні машини мігрують та реплікують елементарні сервіси, як компоненти комплексних аплікацій (застосувань), відповідно до розподілу вимог користувачів у системі. Тобто сервісно-орієнтована архітектура (SOA) володіє сукупністю ресурсів, що мігрують всередині хмарної системи, яка є надзвичайно складним розподіленим об’єктом, утворюючи конкретну реалізацію платформи надання сервісів (SDP). Можна виділити специфічні групи сервісних компонентів, що використовуються у процесі оркестрації, за рахунок якого комплексне застосування можуть використати користувачі SDP. Класифікацію сервісних компонентів, як тредів або потоків, що реалізуються віртуальними машинами, можна прийняти відповідно до визначень закону Амдала [19]. Отже, для нашої інтегральної моделі ми можемо виділити гіпервізори та інші послідовні за характером елементарні сервісні компоненти (ESC) сукупності сервісних застосувань ( $\alpha$ ) в одну групу, а також ESC, які функціонують, обслуговуючи потоки запитів, паралельно – в іншу ( $\eta = n - \alpha$ ) де  $n$  – відображає загальну кількість елементарних сервісних компонентів (рис. 3).

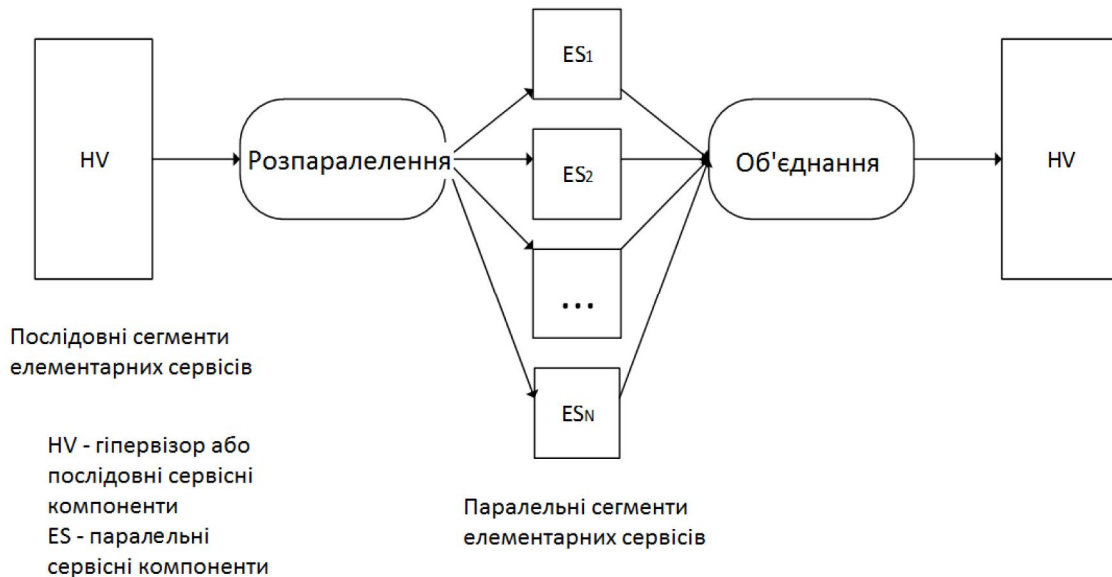


Рис. 3. Паралельні та послідовні сегменти застосувань як варіант елементарної сервісної структури в SOA

Отже, враховуючи нечітко задану та динамічно-змінну структуру хмарної мережевої системи, задачу оптимального структурно-функціонального синтезу можна звести до вибору оптимального співвідношення кількості сервісних компонентів, які належать до різних визначених груп у межах їх комбінованого поєднання під час утворення та вибудовування комплексних застосувань у сервісно-орієнтованій архітектурі. На жаль, основні труднощі, пов'язані з розв'язанням цієї задачі, спричиняє брак досліджень щодо ймовірнісних процесів обслуговування трафіку розподіленими сервісними застосуваннями в системному аспекті, за умов варіації навантаження на SDP, що генерується запитами користувачів до сервісів різних видів [8, 18]. Функціональні властивості сервісів повинні розглядатись у термінах стохастичних процесів, враховуючи їх пряму залежність від статистичних властивостей навантаження, що обслуговується. Для характеризування статистичних особливостей трафіку навантаження на хмарну систему можна використати параметр самоподібності Херста. Відповідно, у роботі [20] ми визначили специфічні особливості таких типів трафіку, як VoIP, VoD, IPTV Multicast, Web-дані тощо. Отже, визначимо поняття “функціонального параметра” для відповідного виду сервісу, що має бути обслугований в хмарній платформі із SOA, як попередньо статистично визначеного та розрахованого параметра Херста, що відповідає специфічному для цього сервісу типу трафіку.

Отже, для кожної синтезованої реалізації хмарної архітектури відповідний показник узагальненої сервісної доступності можна подати та розрахувати для кожного функціонального виду сервісу, що пропонується SDP, так само, як і показник відносної продуктивності [11, рис. 2] для заданої структурної реалізації (комбінації) елементарних сервісних компонентів. Обидва зазначені показники ми вибрали як критерії для оптимального структурного та функціонального синтезу платформ надання сервісів [11].

Далі наведемо результати моделювання сервісної доступності в масштабованій хмарній сервісній мережі, виконане на основі числових розрахунків та апроксимації розв'язків аналітичних залежностей роботи [11] (рис. 4–5). Робимо припущення, що для випадку моделювання, результати якого подані на рис. 4, реалізація сервісного шару хмарної платформи відбувається без оптимального розподілу обробників навантаження сервісних потоків (міграції віртуальних машин); випадок, коли розподіл обробників навантаження сервісних потоків можна адаптивно скоректувати, у разі потреби, міграцією віртуальних машин [21], відображено на рис. 5.

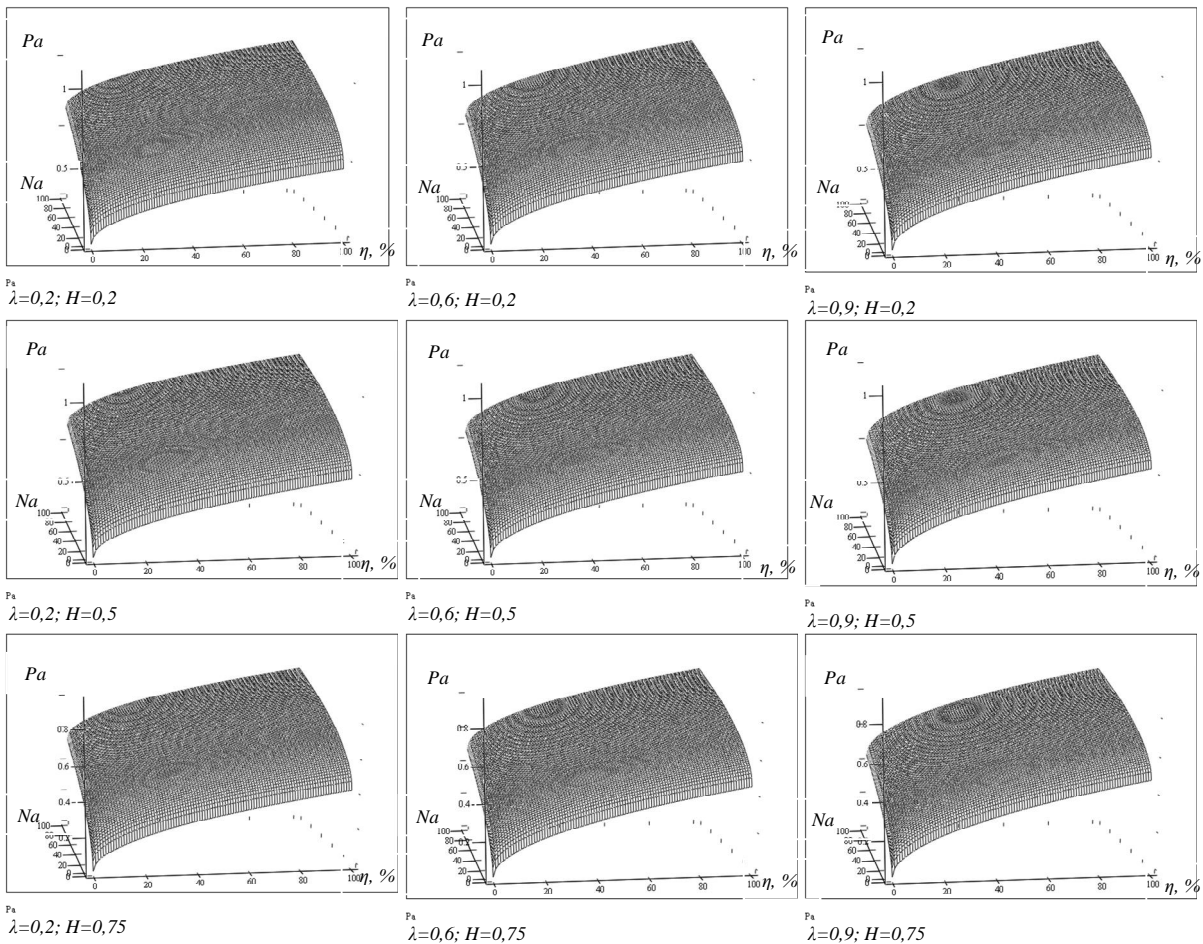


Рис. 4. Результати моделювання сервісної доступності в масштабованій хмарній сервісній мережі. Випадок неоптимального конфігурування ресурсів хмарної мережевої платформи (необхідний ресурс для обслуговування комплексних застосунків перевищує доступні ресурси віртуальних машин у вузлах сервісної мережевої системи, що підтримують відповідні елементарні сервісні компоненти). Параметри навантаження  $\lambda$  (відносно до максимально можливого у відсотках) та значення параметра Херста  $H$  для агрегованого вхідного трафіку вказані під відповідними залежностями.  $P_a$  – узагальнена сервісна доступність хмарної мережевої платформи;  $\eta$  – частка ESC, які функціонують, обслуговуючи потоки запитів паралельно, %;  $N_a$  – кількість сервісних вузлів у хмарній мережевій платформі

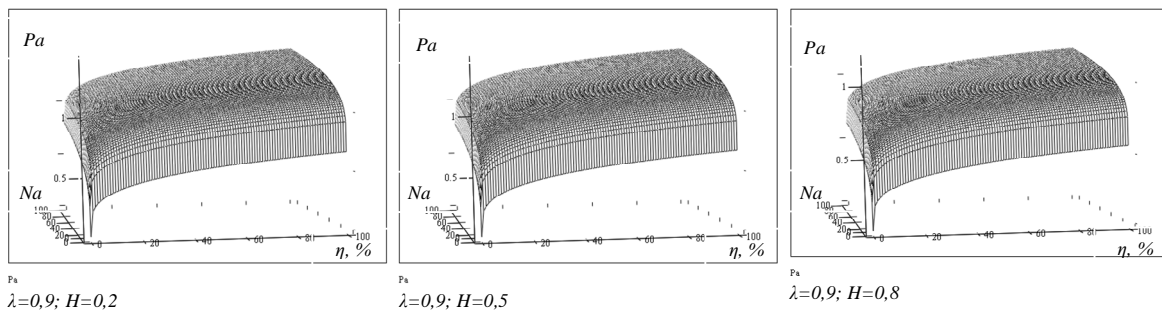


Рис. 5. Результати моделювання сервісної доступності в масштабованій хмарній сервісній мережі. Випадок адаптивного конфігурування ресурсів хмарної мережевої платформи міграцією віртуальних машин (необхідний ресурс для обслуговування комплексних застосунків приблизно відповідає доступним ресурсам віртуальних машин у вузлах сервісної мережевої системи, що підтримують потрібну конфігурацію елементарних сервісних компонентів). Параметри навантаження  $\lambda$  (відносно до максимально можливого у відсотках) та значення параметра Херста  $H$  для агрегованого вхідного трафіку вказані під відповідними залежностями.  $P_a$  – узагальнена сервісна доступність хмарної мережевої платформи;  $\eta$  – частка ESC, які функціонують, обслуговуючи потоки запитів паралельно, відсотків;  $N_a$  – кількість сервісних вузлів у хмарній мережевій платформі



Аналізуючи результати, подані на рис. 4 та рис. 5, можна зробити висновок про закономірне поступове зниження сервісної доступності в хмарній мережевій системі у разі зростання навантаження до максимального, причому воно відбувається повільніше у реалізаціях системи, у яких частка паралельних елементарних сервісних компонентів, які функціонують, обслуговуючи потоки запитів, переважає над часткою послідовних. Якщо кількість сервісних вузлів у хмарній платформі більша, за умови збільшення частки розпаралелених елементарних сервісних компонентів, сервісна доступність зростає швидше. За її показниками, отриманими в процесі моделювання, можна припустити, що як оптимальне співвідношення  $\eta/\alpha$  можна прийняти 60/40. Вплив показника Херста на сервісну доступність якісно проявляється за його високих значень, вказуючи на те, що самоподібний трафік відчутно знижує її. Відтак, на рис. 4 видно, що в умовах дефіциту ресурсів або неоптимального конфігурування хмарної сервісної платформи, для самоподібного трафіку можливе погіршення цього показника в середньому від 15 %, якщо  $\lambda=0,2$ , до 30 %, якщо  $\lambda=0,9$ . За умов застосування адаптивного конфігурування ресурсів хмарної мережевої платформи з міграцією віртуальних машин таке зниження сервісної доступності не перевищить 5–10 % (див. рис. 5), а якщо сервісних вузлів понад 40 – стає невідчутним. Зазначимо, що високі показники самоподібності має трафік сервісів генерування інтернет-даних (нереального часу) –  $H \cong 0,685$ , IP-телефонії –  $H \cong 0,981$ , відео за запитом (VoD) –  $H \cong 0,608$ , передавання службових даних –  $H \cong 0,719$  [20, табл. 5].

### Висновки

У статті виконано числове дослідження сервісної доступності розподіленої сервісної платформи. На основі одержаних результатів можливо виконувати ефективний синтез конфігурацій масштабованих хмарних сервісних систем із урахуванням типу та величини навантаження, що потребує обслуговування під час вибудовування відповідного сервісу з комбінуванням паралельних та послідовних елементарних сервісних компонентів задля досягнення найкращих показників продуктивності та системної працездатності (рівня сервісної доступності).

З урахуванням закону Амдала [11, рис. 2; 19] можна також постулювати, що кластеризація хмарних систем може бути ефективною для масштабу кластера не менше ніж 100 сервісних вузлів, що узгоджується з результатами моделювання сервісної доступності розподіленої сервісної платформи (рис. 4–5). Проте збільшення розміру кластера хмарної платформи призведе до необхідності вдосконалення методів управління потоками, зокрема застосування модифікованих методів підвищення доступності її телекомунікаційних вузлів, наприклад, за допомогою структурно-генного динамічного балансування.

Застосування запропонованого підходу та алгоритму динамічної корекції маршрутних метрик із наскрізним структурним трасуванням пропонує нам оперативно і динамічно визначати структурно-топологічні зміни в хмарній сервісній платформі, а це дає змогу покращити балансування навантаження в сервісних вузлах, виконуючи плавну міграцію основних інформаційних потоків та, відповідно, сервісних компонентів з областей системи із високим навантаженням і структурними неоднорідностями, а отже, – підвищити доступність сервісних вузлів у хмарній мережевій системі.

1. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based_networking). 2. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_as\\_a\\_service](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_as_a_service). 3. Підвищення якості обслуговування в конвергентних мобільних системах на основі платформи UMA-A / М. М. Климаш, М. І. Бешлей, Б. М. Стрихалюк, Г. В. Холявка // Проблеми телекомунікацій. 2014. № 1 (13). С. 3–19. URL: [http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141\\_klymash\\_uma.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141_klymash_uma.pdf). 4. Модель надання сервісів на основі методу адаптації логічної структури cloud-системи / М. М. Климаш, Б. М. Стрихалюк, О. М. Шпур, М. І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. 2014. № 5(33). С. 27–36. 5. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / М. Beshley, М. Klymash, В. Strykhalyuk, О. Shpur, В. Bugil, I. Kagalo // International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). 2015. Vol. 4. Issue 1. P. 10–21. URL: <http://ijcsse.org/published/volume4/issue1/p3-V4I1.pdf>. Назва з екрана. 6. Климаш М. М.,

Бугиль Б. А. Узагальнений метод оптимізації структур телекомунікаційної мережі за критерієм ефективності розподілу її ресурсів // Системи обробки інформації. 2013. Вип. 7. С. 72–78. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2013\\_7\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2013_7_20). 7. Barham P., Dragovic B., Fraser K., Hand S., Harris T., Ho A., Neugebauer R., Pratt I. and Warfield A. Xen and the art of virtualization, in *SOSP'03: Proceedings of the nine-teenth ACM symposium on Operating systems principles*. New York, NY, USA: ACM. 2003, P. 164–177. 8. Моделювання та прогнозування зайнятості буфера системи розподілу мультисервісного трафіка з використанням методу автозупинки / М. М. Климаш, О. А. Лаврів, Б. А. Бугиль, Р. І. Бак // Проблеми телекомунікацій. 2011. № 2 (4). С. 108–117. URL: [http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112\\_klimash\\_buffer.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_klimash_buffer.pdf). 9. Kryvinska N., Strauss C. Conceptual Model of Business Services Availability vs. Interoperability on Collaborative IoT-enabled eBusiness Platforms // in the “Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence”, book Ed.: N. Bessis and F. Xhafa, D. Varvarigou, R. Hill, and M. Li, the book series “Studies in Computational Intelligence”. (SCI-460), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. P. 167–187. 10. Demydov Ivan, Mehdi El Hatri Mohamed, Shpur Olga. Dynamic Correction of Routing Metrics by Pervasive Structural Routing in the Scalable Distributed Service Networks // Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015 Second International Scientific-Practical Conference, 13–15 Oct. 2015. Kharkiv, Ukraine. P. 164–166. 11. The structural-functional synthesis of cloud service delivery platform after service availability and performance criteria / I. V. Demydov, B. M. Strykhaluk, O. M. Shpur, Mohamed Mehdi El Hatri, Y. V. Klymash // Системи обробки інформації. 2015. № 1. С. 144–159. 12. Routers for the Cloud Andrei Agapi et al. // IEEE Internet Computing. 2011. № 11. P. 72–76. 13. Detecting all the faces and outside edge for planar graph (in Russian) URL: <http://e-maxx.ru/algo/facets>. 14. Kurapov S. V., Kondratyeva N. A. The algorithm for graph planarity (in Russian) // The Bulletin of Zaporizhzhya State University. 2001. № 1. URL: <http://web.znu.edu.ua/herald/issues/archive/articles/1615.pdf>. 15. Kryvinska N., Strauss C. Next Generation Networks – Service Delivery and Management // Book, Electronic Business series. Vol. 7, International Academic Publishers, Peter Lang Publishing Group, 2011; Kryvinska N., Converged Network Service Architecture: A Platform for Integrated Services Delivery and Interworking. Electronic Business series edited by C. Strauss, vol. 2, International Academic Publishers, Peter Lang Publishing Group, 2010. 16. Walter F. Witt Keep Your Feet on the Ground When Moving Software into the Cloud / Walter F. Witt // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2010. Vol. 4, Number 2. P. 10–17. 17. Demydov I., Klymash M., Kryvinska N. and Strauss C. Enterprise Distributed Service Platform-Network Architecture and Topology Optimization, Int. J. Space-Based and Situated Computing. 2(1). 2012. P. 23–30. 18. Demydov I. Analysis of service workflows distribution and service deliveryplatform parameters / Ivan Demydov, Orest Lavriv, Bohdan Buhyl, Yuriy Dobush, Mykhailo Klymash // Int. J. Services, Economics and Management. 2013. Vol. 5. No. 4. P. 280–290. 19. Amdahl G. M. The validity of the single processor approach to achieving large-scale computing capabilities // In Proceedings of AFIPS Spring Joint Computer Conference. Atlantic City, N.J., AFIPS Press. 1967. 20. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах / Б. М. Стрихалюк, І. В. Демидов, В. І. Романчук, М. І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. 2014. № 6(34). С. 82–92. 21. Структурно-функціональна оптимізація процесів міграції віртуальних машин в розподілених дата-центрах / Б. М. Стрихалюк, З. В. Хархаліс, І. В. Демидов // Комп'ютерні технології друкарства: зб. наук. праць. 2014. № 32. С. 69–81.

## References

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-based_networking). 2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_as\\_a\\_service](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_as_a_service). 3. Klymash M. M., “Enhancement of the servicing quality in the converged mobile systems on the basis of UMA-A platform” [Electronic resource] / M. M. Klymash, M. I. Beshley, B. M. Strykhaluk, H. V. Kholiyavka // Problems of Telecommunications. – 2014. – № 1 (13). – P. 3–19. – The access mode to the issue: [http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141\\_klymash\\_uma.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141_klymash_uma.pdf). 4. Klymash M. M., “The model of services providing on the basis of cloud-system logical structure adaptation method” / M. M. Klymash, B. M. Strykhaluk, O. M. Shpur, M. I. Beshley // Scientific proceeding of Ukrainian Research Institute of

Communication. – 2014. – No. 5(33). – C. 27–36. 5. Beshley M. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets [Electronic resource] / M. Beshley, M. Klymash, B. Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo // *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*. – 2015. – Vol. 4. – Issue 1. – P. 10–21. – The access mode: <http://ijcsse.org/published/volume4/issue1/p3-V4I1.pdf>. – The title from screen. 6. Klymash M. M., “The common optimization technique for telecommunication network structures by the criterion of its resources distribution effectiveness” [Electronic resource] / M. M. Klymash, B. A. Bugil // *Information processing systems*. – 2013. – Issue 7. – P. 72–78. – The access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2013\\_7\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2013_7_20). 7. P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield, “Xen and the art of virtualization”. in *SOSP’03: Proceedings of the nine-teenth ACM symposium on Operating systems principles*. New York, NY, USA: ACM, 2003, pp. 164–177. 8. Klymash M. M., “The simulation and provision of the buffer’s utilization in the multi service traffic distribution system using auto stopping technique” [Electronic resource] / M. M. Klymash, O. A. Lavriv, B. A. Bugil, R. I. Bak // *Problems of Telecommunications*. – 2011. – No. 2 (4). – P. 108–117. – The access mode to the issue: [http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112\\_klymash\\_buffer.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_klymash_buffer.pdf). 9. N. Kryvinska, C. Strauss, “Conceptual Model of Business Services Availability vs. Interoperability on Collaborative IoT-enabled eBusiness Platforms”, in the “Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence”, book Ed.: N. Bessis and F. Xhafa, D. Varvarigou, R. Hill, and M. Li, the book series “Studies in Computational Intelligence”, (SCI-460), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, ISBN: 978-3-642-34951-5, pp. 167–187. 10. Ivan Demydov, Mohamed Mehdi El Hatri, Olga Shpur. Dynamic Correction of Routing Metrics by Pervasive Structural Routing in the Scalable Distributed Service Networks // *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*, 2015 Second International Scientific-Practical Conference, 13–15 Oct. 2015, Kharkiv, Ukraine. – P. 164–166. 11. Demydov I. V. The structural-functional synthesis of cloud service delivery platform after service availability and performance criteria / I. V. Demydov, B. M. Strykhalyuk, O. M. Shpur, Mohamed Mehdi El Hatri, Y. V. Klymash // *Information processing systems*. – 2015. – No. 1. – P. 144–159. 12. Andrei Agapi et al. *Routers for the Cloud* // *IEEE Internet Computing*. – 2011. – No. 11. – P. 72–76. 13. Detecting all the faces and outside edge for planar graph (in Russian) [Electronic resource] // <http://e-maxx.ru/algo/facets>. 14. Kurapov S. V., Kondratyeva N. A. The algorithm for graph planarity (in Russian) // *The Bulletin of Zaporizhzhya State University*. – 2001. – №1. – <http://web.znu.edu.ua/herald/issues/archive/articles/1615.pdf>. 15. N. Kryvinska, C. Strauss, “Next Generation Networks - Service Delivery and Management”, Book, *Electronic Business series*, vol. 7, International Academic Publishers, Peter Lang Publishing Group, 2011; ISBN-978-3-631-60871-5; ISSN: 1868-646X. N. Kryvinska, *Converged Network Service Architecture: A Platform for Integrated Services Delivery and Interworking*. *Electronic Business series* edited by C. Strauss, vol. 2, International Academic Publishers, Peter Lang Publishing Group, 2010; ISBN-13:978-3631595251; ISSN:1868-646X. 16. Walter F. Witt *Keep Your Feet on the Ground When Moving Software into the Cloud* / Walter F. Witt // *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. – 2010. – Volume 4, Number 2. – P. 10–17. 17. Demydov, I., Klymash, M., Kryvinska, N., and Strauss, C. (2012) ‘Enterprise Distributed Service Platform – Network Architecture and Topology Optimization’, *Int. J. Space-Based and Situated Computing*, 2(1), 2012, pp. 23–30. 18. Demydov I. Analysis of service workflows distribution and service delivery platform parameters / Ivan Demydov, Orest Lavriv, Bohdan Buhyl, Yuriy Dobush, Mykhailo Klymash // *Int. J. Services, Economics and Management*. – 2013. – Vol. 5, No. 4. – P. 280–290. 19. G. M. Amdahl. The validity of the single processor approach to achieving large-scale computing capabilities. In *Proceedings of AFIPS Spring Joint Computer Conference*, Atlantic City, N.J., AFIPS Press, 1967. 20. Strykhalyuk B. M., “A statistical parameters and characteristics study of informational flows in heterogeneous networks” / B. M. Strykhalyuk, I. V. Demydov, V. I. Romanchuk, M. I. Beshley // *Scientific proceeding of Ukrainian Research Institute of Communication*. – 2014. – No. 6(34). – P. 82–92. 21. Strykhalyuk B. M., “The structural and functional optimization of virtual machines migration processes at distributed datacenters” / B. M. Strykhalyuk, Z. M. Kharkhalis, I. V. Demydov // *Computer technologies of printing: scientific proceedings*. – 2014. – No. 32. – P. 69–81.