УДК 621.327 **DOI:** 10.31673/2412-9070.2021.040713

**Л. Н. БЕРКМАН**, доктор техн. наук, професор;
**Л. В. ДАКОВА**, канд. техн. наук;
**С. Ю. ДАКОВ**, канд. техн. наук;
**Н. В. БЛАЖЕННИЙ**, ст. викладач;
**О. В. КІТУРА**, аспірант;
**К. В. ПОЛОНСЬКИЙ**, аспірант,
Державний університет телекомунікацій, Київ

# ДОСЛІДЖЕННЯ КОГНІТИВНИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЯМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

***Наведено методи керування інфокомунікаційними мережами 5-го покоління в умовах невизначеності.***

***Дослідження надскладних систем, в які перетворюються сучасні інфокомунікації з надбудованими над ними соціальними мережами, базуються на нелінійних когнітивних методах, котрі нині претендують на роль базової парадигми в керуванні інфокомунікаціями майбутнього.***

***Наукове завдання полягає в необхідності забезпечення ефективного і стійкого керування інфокомунікаційними мережами в умовах на порядки вищої мережної ємності, мультисервісності, задоволенні відповідних вимог, які висуваються до систем керування новими гетерогенними надщільними мережами.***

***Для проведення досліджень застосовано ймовірнісно-часові характеристики керування інфокомунікаціями.***

***У статті запропоновано мультиагентну модель керування, що складається з великої кількості агентів, які мають обмежену інтелектуальність і подають заявки на послуги, та описується за допомогою рівнянь Колмогорова–Чепмена.***

***Здобуто аналітичні залежності загальної кількості інтелектуальних агентів у системі від інтенсивностей надходження і обслуговування в телекомунікаційних мережах.***

***Показано залежності, що дають можливість керування телекомунікаційними послугами за різних цільових функцій: мінімізації кількості простоїв інтелектуальних агентів або, навпаки, максимізації їх кількості за потреби резервування ресурсів для очікуваного сплеску надходження запитів.***

***Уперше зазначено, що керування може здійснюватися заданням величини ймовірності переходів інтелектуальних агентів, а оперативне керування мультиагентна система виконає самостійно.***

**Ключові слова:** інтелектуальний агент; імовірність; інфокомунікації; модель; методи; властивості.

### *Вступ*

Дослідження надскладних систем, в які перетворюються сучасні інфокомунікації з надбудованими над ними соціальними мережами, комунікаціями машина-машина M2M, Інтернетом речей IoT, найрізноманітнішими новими інфокомунікаційними послугами VAS, ґрунтуються на нелінійних когнітивних методах, які сьогодні претендують на роль базової парадигми в керуванні інфокомунікаціями майбутнього.

Метою статті є окреслення загальних (поки поза контекстом керування інфокомунікаціями) ментальних властивостей інтелектуального агента (ІА): відчуття (*perceptions*) — сприйняття обстановки; переконання (*beliefs*) — змінної частини знань агента про світ; мети (*goals*) — бажаного результату впливів на зовнішній світ; намірів (*intentions*) — формування плану дій. Тобто ІА відчуває навколишній світ, однак йому недоступна повна інформація про його місце в глобальному стані. Ситуації ідентифікуються на основі відчуттів і висловлюють переконання агента про стан світу. Цикл функціонування ІА складається з виконання такої послідовності функцій: відчуття; аналіз ситуації; планування дій; виконання плану; дія.

Наукове завдання полягає в необхідності забезпечити ефективне і стійке керування інфокомунікаційними мережами в умовах на порядки вищої мережної ємності, мультисервісності, задоволенні відповідних вимог, які висуваються до систем керування новими гетерогенними надщільними мережами.

Для проведення досліджень можна застосовувати методи машинного самонавчання, засновані на формалізмі і статистичному аналізі; міркування на основі прецедентів (Case-Based Reasoning); байєсівські мережі довіри; нейромережні алгоритми; нечітку логіку; еволюційні обчислення тощо. Утім у межах цієї статті ми сконцентруємося на ймовірнісно-часових характеристиках керування інфокомунікаціями.

У статті *мультиагентна система* (МАС) розглядається як сукупність раціональних агентів, об'єднаних у групи і взаємодіючих між собою для досягнення загальної мети керування телекомунікаційною мережею. Спілкування агентів, співробітництво, координація і взаємодія агентів у системі здійснюються за допомогою мови комунікацій ACL (*Agent Communication Language*). Саме цим, а також рольовими функціями агентів і нормами їх взаємодії визначається архітектура МАС.

### *Основна частина*

Розроблення ментальної структури інтелектуального агента базується на методах і технологіях несимвольного штучного інтелекту [1], які мають забезпечувати роботу зі слабко структурованою інформацією і знаннями, а також реалізовувати процеси адаптації, зокрема самонастроювання, самонавчання і самоорганізація [2; 3].

Загалом архітектуру інтелектуального агента зображено на рис. 1.

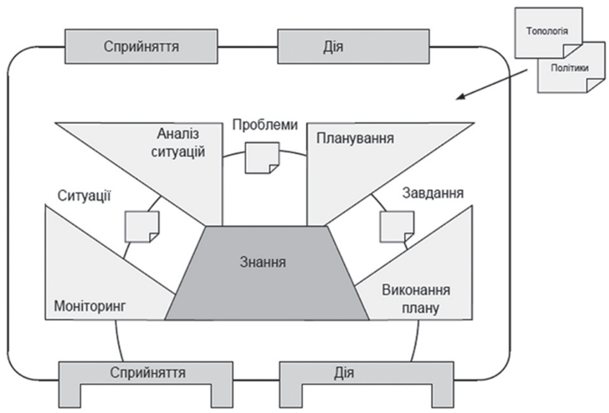


**Рис. 1. Архітектура інтелектуального агента**

Розглянемо модель МАС (рис. 2), побудовану на базі двох протидіючих агентських потоків — агентів заявок на диференційовані послуги (У-агенти) і агентів ресурсів (Р-агенти), необхідних для надання диференційованих послуг. При цьому У-агенти взаємодіють із Р-агентами очевидним чином: У-агент захоплює Р-агента, тобто Р-агент перестає існувати (що з високою ймовірністю відбувається, якщо ресурс вельми обмежений, а заявка його забирає в значному обсязі), або У-агент задовольняється без значної шкоди для Р-агента, тобто У-агент перестає існувати (що з високою ймовірністю відбувається, якщо ресурс необмежений, і/або заявка його забирає в невеликому обсязі).

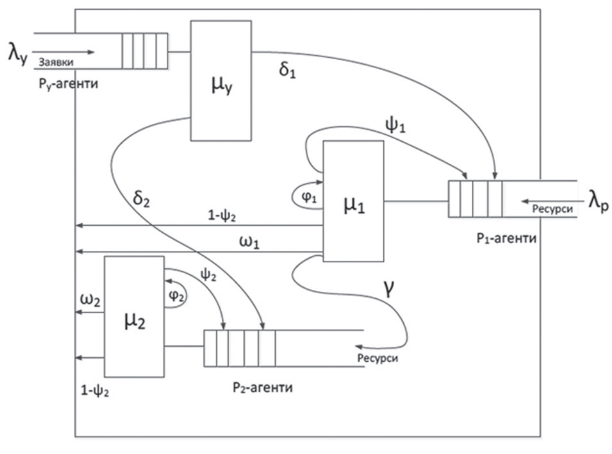


**Рис. 2. Мультиагентна модель сервісної площини**

Отже, можна говорити про Р-агентів двох типів: $Р_1$-агентів, коли ресурс майже необмежений для заявок на послуги, і $Р_2$-агентів, коли ресурс обмежений для цих заявок. Під час взаємодії У-агента з $Р_1$-агентами з високою ймовірністю У-агент обслуговується, а $Р_1$-агенти залишаються в системі. У разі взаємодії У-агента з $Р_2$-агентом У-агент обслуговується з малою ймовірністю, а $Р_2$-агент із високою ймовірністю залишає систему.

Стан такої системи описує рівняння:

$$N(t) = (N_У(t), N_{Р_1}(t), N_{Р_2}(t)), \tag{1}$$

де елементами цього вектора $N(t)$ є загальна кількість агентів у системі в момент часу $t$, а $N_У(t)$, $N_{Р_1}(t)$, $N_{Р_2}(t)$ — кількість агентів відповідно типу У, $Р_1$ і $Р_2$.

У систему надходить пуассонівський потік У-агентів (заявок на диференційовані послуги) з інтенсивністю $\lambda_У$ і незалежний від нього теж пуассонівський потік Р-агентів (ресурсів) з інтенсивністю $\lambda_Р$. Зауважимо, що йдеться про $Р_1$-агентів, оскільки тільки вони надходять у систему в міру появи/звільнення. Що ж до $Р_2$-агентів, то вони виходять із $Р_1$-агентів під впливом У-агентів у міру вичерпання ресурсів.

Коли У-агенти надходять у систему, вони обслуговуються з інтенсивністю $\mu_Y$, причому обслуговуванням у цьому випадку є взаємодія з Р-агентом, якщо такий у системі наявний (за відсутності в системі Р-агентів будь-якого типу У-агент залишає систему необслугованою).

Водночас У-агент не знає, з яким типом Р-агента він взаємодіє: з $P_1$-агентом або з $P_2$-агентом, оскільки під час надходження заявки на послугу цій заявці не може бути відомо, чи в надлишку перебуває необхідний ресурс, чи в дефіциті. Вважатимемо, що У-агент взаємодіє з $P_1$-агентом з імовірністю $\delta_1$, а з $P_2$-агентом з імовірністю $\delta_2$.

Якщо У-агент взаємодіяв з $P_1$-агентом, він його вивів із системи з імовірністю $\omega_1$, а якщо він взаємодіяв із $P_2$-агентом, то він його вивів із системи з імовірністю $\omega_2$.

$P_1$-агенти обробляються з інтенсивністю $\mu_1$, і після оброблення послуги, вираженої У-агентом, $P_1$-агент зберігається для задоволення наступних У-агентів, або він перетворюється в $P_2$-агента, коли ресурс для У-агентів передбачається обмеженим. Перша подія настає з імовірністю $\gamma$, а друга подія, відповідно, з імовірністю $(1-\gamma)$ .

Коли $P_1$-агент з імовірністю $\delta_1$ надає ресурс для обслуговування У-агента (заявки на послугу), і обслугований У-агент залишає систему (заявка задоволена), $P_1$-агент залишається в системі і повертається у свій стек $P_1$-агентів з імовірністю $\psi_1$ (ресурс невичерпаний і зберігається для інших У-агентів) або теж залишає систему з імовірністю $(1-\psi_1)$, коли ресурс вичерпаний. Можлива, зрозуміло, ситуація, коли $P_1$-агент не зміг організувати послугу для У-агента через свою недостатність або надмірні запити У-агента, або ще з якихось причин, тоді $P_1$-агент залишає систему після невдалої спроби. Імовірність такої події $(1-\varphi_1)$. Зауважимо, що ця остання ймовірність зазвичай мала, тому найчастіше в міру вичерпання ресурсу У-агенти заздалегідь переведуть $P_1$-агентів в рій $P_2$-агентів з обмеженим ресурсом. Але нестача ресурсу може наступити миттєво, що і відбувається іноді з імовірністю $(1-\varphi_1)$.

Нарешті, розглянемо рій $P_2$-агентів. Вони обробляються з інтенсивністю $\mu_2$. З імовірністю $\varphi_2$ $P_2$-агент задіюється для організації послуги, вираженої У-агентом, і успішно виконує це завдання. Далі цей $P_2$-агент або повертається у свій рій $P_2$-агентів з імовірністю $\psi_2$, або він залишає систему з імовірністю $(1-\psi_2)$ , коли ресурс $P_2$-агентів повністю вичерпаний. Можливо, що вже для цього У-агента ресурсу виявилося недостатньо, організувати послугу не вдалося, і $P_2$-агент залишає систему без результату. Ця подія настає з імовірністю $(1-\varphi_2)$ .

Пояснимо фізичну інтерпретацію розглянутих імовірностей.

$P_1$-агент і $P_2$-агент ресурсів взаємодіють із У-агентами заявок на інфокомунікаційні послуги з імовірністю відповідно $\omega_1$ і $\omega_2$. Результати цієї взаємодії успішні (У-агент обслуговано — для заявки на послугу виділено необхідні ресурси) з імовірністю відповідно $\varphi_1$ для $P_1$-агентів і $\varphi_2$ для $P_2$-агентів. Сам Р-агент після виділення необхідного ресурсу для У-агента зберігає здатність залишатися в системі: $P_1$-агенти з імовірністю $\psi_1$ і $P_2$-агенти з імовірністю $\psi_2$.

Різниця між $P_1$-агентом і $P_2$-агентом також інтерпретується природним чином. Надлишкові ресурси можуть надаватися У-агентам із набагато меншими сумнівами і коливаннями, тому $\mu_1 > \mu_2$, а також $\omega_2 > \omega_1$. З тієї ж самої причини після взаємодії з У-агентом у системі $P_1$-агенти залишаються і повертаються в рій з набагато більшою ймовірністю, ніж $P_2$-агенти, тобто $\psi_1 > \psi_2$.

Для розглянутої моделі, що описується виразом (1), стани для $N(t){:}t > 0$ можуть бути отримані за допомогою рівнянь Колмогорова–Чепмена для $p(n,t) = P[N(t) = n]$, де $n = (n_Y, n_1, n_2)$, а $n_Y, n_1, n_2$ — невід'ємні цілі, що відповідають кількості У-агентів, $P_1$-агентів і $P_2$-агентів у системі в момент часу $t$.

Для запропонованої моделі рівняння Колмогорова–Чепмена можуть бути виведені в такий спосіб [1]. Позначимо через $p(n,t)$ імовірність того, що система перебуває в стані $n$ в момент часу $t$, тобто

$$p(n,t) = P\{N(t) = n\}. \tag{2}$$

Імовірність того, що система буде перебувати в стані $k$ у момент часу $t + \Delta t$, описується через імовірності переходів з усіх сусідніх станів у стан $k$ так:

$$\begin{aligned} p(n,t+\lambda_Y\Delta t) = {} & \lambda_Y\Delta t(1-\mu_Y\Delta t)p(n,-x_Y,t)1[n_Y > 0] + \lambda_Y\Delta t(1-\mu_1\Delta t)p(n-x_1,t)1[n_1 > 0] + \\ & + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y\Delta t)\delta_1(1-\omega_1)p(n+x_Y,t)1[n_1 > 0] + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y\Delta t)\delta_2\omega_2 p(n+x_y+x_2,t) + \\ & + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y\Delta t)\delta_1 p(n+x_Y,t)1[n_1 = 0] + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y\Delta t)\delta_2 p(n+x_Y,t)1[n_2 = 0] + \\ & + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y\Delta t)\delta_1\omega_1 p(n+x_y+x_1,t) + \mu_Y\Delta t(1-\lambda_Y)\delta_2(1-\omega_2)p(n+x_Y,t)1[n_2 > 0] + \\ & + \mu_1\Delta t(1-\lambda_1\Delta t)\gamma\varphi_1\psi_1 p(n+x_Y,t) + \mu_1\Delta t(1-\lambda_1\Delta t) - \gamma\varphi_1(1-\psi_1)p(n+x_Y+x_1,t) + \\ & + \mu_1\Delta t\,(1-\lambda_1\Delta t)\gamma(1-\varphi_1)p(n+x_1,t) + \mu_1\Delta t(1-\lambda_1\Delta t)\gamma(1-\omega_1)p(n+x_1,t)1[n_Y = 0] + \\ & + \mu_1\Delta t(1-\lambda_1\Delta t)(1-\gamma)p(n+x_1-x_2,t)1[n_2 > 0] + \mu_2\Delta t\varphi_2(1-\psi_2)p(n+z_2,t) + \mu_2\Delta t\psi_2 f p(n+x_Y,t) + \\ & + \mu_2\Delta t(1-\varphi_2)p(n+z_2,t) + \mu_2\Delta t p(n+x_2,t)1[n_Y = 0] + \\ & + [(1-\lambda_Y\Delta t)(1-\mu_Y\Delta t)(1-\lambda_1\Delta t)(1-\mu_1\Delta t)(1-\mu_2\Delta t)]p(n,t), \end{aligned} \tag{3}$$

звідки [4]

$$\frac{d}{dt}p(n,t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\left[p(n,t+\Delta t)-p(n,t)\right]}{\Delta t} \qquad (4)$$

і, беручи до уваги [5]

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{o(\Delta t)}{\Delta t}=0, \qquad (5)$$

можна перейти безпосередньо до рівнянь Колмогорова–Чепмена, що описують інтенсивності переходів із сусідніх станів у стан $k$, які набирають вигляду

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}p(n,t) &= \lambda_Y p(n-x_y,t)1[n_Y>0]+\lambda_1 p(n-x_1,t)1[n_1>0]+\mu_Y(\delta_1\omega_1 p(n+x_Y+x_1,t)+\delta_2\omega_2 p(n+x_Y+x_2,t)+\\ &+\delta_1 p(n+x_Y,t)1[n_1=0]+\delta_2 p(n+x_Y,t)1[n_2=0]+\delta_1(1-\omega_1)p(n+x_Y,t)1[n_1>0]+\\ &+\delta_2(1-\omega_2)p(n+x_Y,t)1[n_2>0]+\mu_1\gamma\varphi_1\psi_1 p(n+x_Y,t)+\gamma\varphi_1(1-\psi_1)p(n+x_Y+x_1,t)+\gamma(1-\varphi_1)p(n+x_1,t)+\\ &+\gamma(1-\varphi_1)p(n+\mathrm{x}_1,t)1[n_Y=0]+(1-\gamma)p(n+x_1-x_2,t)1[n_2>0]+\\ &+\mu_2(\varphi_2(1-\psi_2)p(n+x_2,t)+\varphi_2\psi_2 p(n+x_Y,t)+(1-\varphi_2)p(n+x_2,t))+\\ &+p(n+x_2,t)1[n_Y=0]-p(n,t)(\lambda_Y+\lambda_1)-p(n,t)(\mu_Y 1[n_Y>0]+\mu_1 1[n_1>0]+\mu_2 1[n_2>0]),\end{aligned} \qquad (6)$$

де $x_Y=(1,0,0)$, $x_1=(0,1,0)$ і $x_2=(0,0,1)$, а одинична функція 1(*) набуває значення 1 у разі виконання умови, зазначеної в круглих дужках, і значення 0, коли умова не виконується.

Як доведено, наприклад у [2], якщо існує стаціонарний розв'язок (6), то він має такий вигляд:

$$p(n)=\lim_{t\to}[p(n,t)(1-\rho_Y)(1-\rho_1)(1-\rho_2)\rho_Y{}^{n_Y}\rho_1{}^{n_1}\rho_2{}^{n_2}, \qquad (7)$$

де $n_Y>0$, $n_1>0$, $n_2>0$, а $0<\rho_Y,\rho_1,\rho_2<1$ визначаються за виразами

$$\rho_2=\frac{(1-\gamma)\rho_1\mu_1+\varphi_2\psi_2\rho_2\mu_2\rho_Y}{\mu_2+\delta_2\omega_2\rho_Y\mu_Y}; \qquad (8)$$

$$\rho_Y=\frac{\lambda_Y}{\mu_Y+\gamma\varphi_1\rho_1\mu_1+\varphi_2\rho_2\mu_2}; \qquad (9)$$

$$\rho_1=\frac{\lambda_1+\varphi_1\rho_1\mu_2\rho_Y\gamma}{\mu_1+\delta_1\omega_1\rho_1\mu_Y+\varphi_2\rho_2\mu_2}. \qquad (10)$$

Звідси розраховуємо середню загальну кількість Р-агентів у системі:

$$V_P=\lim_{t\to}\mathrm{E}[V_1(t)+V_2(t)]. \qquad (11)$$

Ця кількість визначається рівністю

$$V_P=\frac{\rho_1}{1-\rho_1}+\frac{\rho_2}{1-\rho_2}. \qquad (12)$$

Розглянемо низку чисельних прикладів поведінки такої системи. Візьмемо для наочності $\mu_y=\mu_1=\mu_2=1$, а $\lambda_y$, $\lambda_1$ і $\lambda_2$ такими, щоб завантаження системи було обмежено $0<\rho_1<1$, $0<\rho_2<1$ і $0<\rho_y<1$ і набувало значення ближче до 0,99. Дослідимо вплив імовірності $q$ (імовірності того, що $P_1$-агент повністю задовольняє заявку на послугу, виражену У-агентом, і ресурсів у цього $P_1$-агента залишається досить, а про перетворення його в $P_2$-агента з імовірністю $(1-\gamma)$ не йдеться). При цьому природно припустити, що ймовірності $\delta_1$ і $\delta_2$ рівні, тобто $\delta_1=\delta_2=0,5$, оскільки У-агент абсолютно не має інформації про стан необхідного йому ресурсу: чи перебуває він у надлишку, як $P_1$-агент, або в дефіциті, як $P_2$-агент. А отже, і вибирає їх рівноймовірно [6; 7].

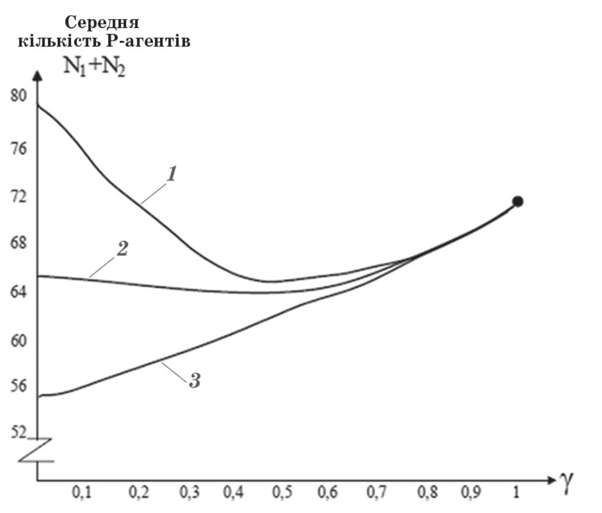


**Рис. 3. Залежність середньої кількості Р-агентів від імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агентів: $\omega_2=0,05$ (*крива 1*); $\omega_2=0,5$ (*крива 2*); $\omega_2=0,95$ (*крива 3*)**

Припустимо також, що ймовірності $\psi_1=\psi_2=0$, тобто після обслуговування заявки на послугу, поданої У-агентом, задіяний в ній ресурс уже не залишається в системі. Зауважимо, що якщо для $P_2$-агентів так найчастіше і відбуватиметься, то для $P_1$-агентів це досить рідкісне явище. Проте саме цей режим нам найбільш цікавий для дослідження, оскільки в умовах наддостатніх ресурсів і скромних У-агентах у системі все буде добре з обслуговуванням [8].

За цих умов звернемося до проблеми вичерпання ресурсів, а точніше, до двох можливостей — до ймовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти під час обслуговування У-агента і до ймовірності $\omega_2$ виведення $P_2$-агентів із системи. Розрахуємо залежність кількості Р-агентів у системі ($P_1$-агентів і $P_2$-агентів у сукупності) від імовірності $\gamma$ при різних значеннях $\omega_2$ (рис. 3). Виберемо три значення $\omega_2 = 0{,}05$, $\omega_2 = 0{,}5$ і $\omega_2 = 0{,}95$.

Якщо ймовірність $\omega_2$ виведення з системи $P_2$-агентів близька до одиниці ($\omega_2 = 0{,}95$ на рис. 3) загальна кількість Р-агентів у системі майже лінійно зростає зі збільшенням імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти під час обслуговування У-агента. За малої ймовірності $\omega_2$ ($\omega_2 = 0{,}05$ на рис. 3) залежність загальної кількості Р-агентів у системі від імовірності $\gamma$ має яскраво виражений мінімум у діапазоні $\gamma = 0{,}3...0{,}6$. Загалом зазначені залежності створюють хороший плацдарм для маневрів у галузі керування при різних цільових функціях: мінімізації кількості простоювань Р-агентів або, навпаки, максимізації їх кількості [9] за необхідності резервування ресурсів для очікуваного сплеску надходження У-агентів. Це керування, по суті, здійснюється через задання ймовірності $\gamma$, а решту мультагентна система (див. рис. 2) зробить сама.

Ще одне важливе дослідження запропонованої мультиагентної системи проілюстровано на рис. 4. Тут вибрано такі реалістичні параметри: імовірність $\psi_1$ достатності ресурсу $P_1$-агента, тобто його збереження в рої $P_1$-агентів після обслуговування У-агента візьмемо такою, що дорівнює одиниці, $\psi_1=1$, для аналогічної ймовірності $\psi_2$ вже для $P_2$-агентів візьмемо $\psi_2 = 0{,}7$, імовірність достатності ресурсу $P_1$-агентів для обслуговування У-агента $\varphi_1 = 0{,}5$, імовірність достатності ресурсу $P_2$-агентів для обслуговування У-агента $\varphi_2 = 0{,}3$, досліджуємо два діапазони ймовірностей $\omega_1$ і $\omega_2$ виведення з системи $P_1$- і $P_2$-агентів, високі ймовірності та низькі ймовірності (див. рис. 4).

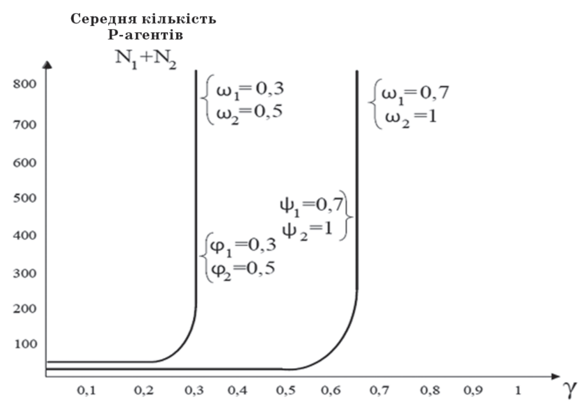


**Рис. 4. Залежність загальної кількості Р-агентів від імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти при $\omega_1 = 0{,}3$ і $\omega_2 = 0{,}5$ (*крива 1*) і при $\omega_1 = 0{,}7$ і $\omega_2 = 1$ (*крива 2*)**

У процесі розрахунку кривих на рис. 4 бралося до уваги, що $0 < \rho_1 < 1$, $0 < \rho_2 < 1$ і $0 < \rho_У < 1$. Дослідження показують, що при низьких можливостях $\omega_1$ і $\omega_2$ виведення з системи $P_1$- і $P_2$-агентів ($\omega_1 = 0{,}3$ і $\omega_2 = 0{,}5$) перевантаження системи (лавиноподібне зростання кількості Р-агентів) досягається при ймовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агента в $P_2$-агенти наближається до 0,3, а при високих можливостях $\omega_1$ і $\omega_2$ виведення з системи $P_1$- і $P_2$-агентів ($\omega_1 = 0{,}7$ і $\omega_2 = 1$) перевантаження системи (лавиноподібне зростання кількості Р-агентів) досягається при ймовірності $\gamma$ переходу $P_1$- агента в $P_2$-агенти наближається до 0,7.

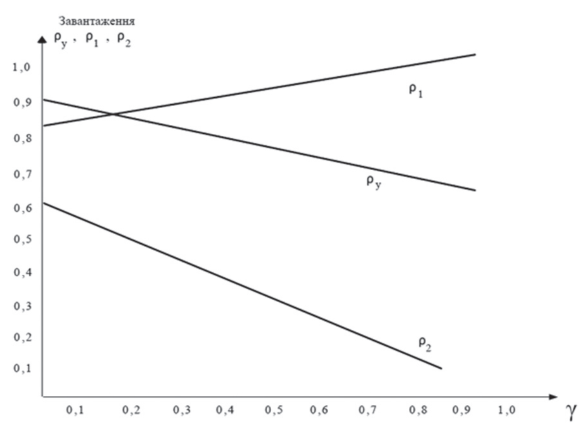


**Рис. 5. Залежність завантаження системи від імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агента в $P_2$-агенти при $\omega_1 = 0{,}7$, $\omega_2 = 1$, $\omega_1 = 1$ і $\omega_2 = 0{,}7$**

І нарешті, на рис. 5 розглянемо залежності $\rho_1$, $\rho_2$ і $\rho_у$ від $\gamma$ при ймовірності $\psi_1$ достатності ресурсу $P_1$-агентів, тобто його збереження в $P_1$-агентах після обслуговування У-агента, що дорівнює $\psi_1 = 0{,}5$, і має таке саме значення, але що належить до достатності ресурсу $P_2$-агентів, імовірності $\psi_2 = 0{,}3$ (очевидно, що $\psi_1 > \psi_1$, інакше не було б сенсу переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти). За цих умов імовірність виведення з системи $P_1$-агентів $\omega_1 = 0{,}05$ і ймовірність виведення із системи $P_2$-агентів $\omega_2 = 0{,}1$ (тут також очевидно, що $\omega_2 > \omega_1$).

Розрахунки залежностей загальної кількості Р-агентів у мультиагентній системі від імовірностей $\omega_1$, $\omega_2$, $\delta_1$, $\delta_2$, $\varphi_1$, $\psi_1$, $\varphi_2$, $\psi_2$ становлять певний теоретичний інтерес [9; 10] і дають можливість виокремити ділянки лавиноподібного зростання значень $V(t)$ — кількості агентів у системі в момент часу $t$. Проте основну увагу в статті приділено саме залежностям від імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти, оскільки саме цей параметр доцільно задіяти для керування інфокомунікаційною мережею.

### *Висновки*

Запропоновано мультиагентну модель керування сервісною площиною, що складається з великої кількості агентів, які мають обмежену інтелектуальність і подають заявки на послуги, і описується за допомогою рівнянь Колмогорова–Чепмена.

Отримано аналітичні залежності загальної кількості Р-агентів у системі від інтенсивностей надходження і обслуговування, імовірності переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти під час обслуговування У-агента за різних значень імовірностей достатності ресурсу $P_1$- і $P_2$-агентів для обслуговування У-агента і ймовірностей збереження $P_1$- і $P_2$-агентів після обслуговування У-агента.

Показано, що ймовірність $\omega_2$ виведення з системи $P_2$-агентів близька до одиниці, загальна кількість Р-агентів у системі майже лінійно зростає зі збільшенням імовірності $\gamma$ переходів $P_1$-агентів у $P_2$-агенти під час обслуговування У-агента, а за малих імовірностей $\omega_2$ залежність загальної кількості Р-агентів у системі від ймовірності $\gamma$ має яскраво виражений мінімум у діапазоні $\gamma = 0,3...0,6$, що дає можливість керування телекомунікаційними послугами при різних цільових функціях: мінімізації кількості простоїв Р-агентів або, навпаки, максимізації їх кількості за потреби резервування ресурсів для очікуваного сплеску надходження У-агентів.

Відзначено, що керування може здійснюватися заданням імовірності $\gamma$ переходу $P_1$-агентів у $P_2$-агенти, а оперативне керування мультиагентна система виконає самостійно.

### *Список використаної літератури*


1. ***Goldstein A.*** *NGN/IMS and post-NGN Management Model // Proceedings of the International Conference on NEW2AN/ruSMART/NsCC. 2017. August 28-30.*

2. ***Goldstein A., Akishin V., Goldstein B.*** *Cognitive Models For Access Network Management // Proceedings of the International Conference on NEW2AN/ruSMART/NsCC. 2017. August 28-30.*

3. ***Рассел С., Норвиг П.*** *Искусственный интеллект. Современный подход. Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. 1408 с.*

4. ***Шнепс-Шнеппе М. А., Сухомлин В. А., Намиот Д. Е.*** *О глобальных информационных системах. // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5, № 4. С. 55–62.*

5. ***Akishin V., Goldstein A., Goldstein B.*** *Cognitive models for access network management // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Т. 10531. С. 375–381.*

6. ***Ефимов В. В., Соколов Н. А., Федоров А. В.*** *Вероятные направления эволюции телекоммуникационной системы // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. 2016. Т. 1, № 1 (2). С. 11–23.*

7. ***Goldshtein A. B.*** *Two approaches for telecommunication networks management // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12, № 3. С. 57–63.*

8. ***Synchronization*** *of delay for OTT services in LTE / A. B. Goldstein, A. A. Zarubin, A. V. [et al.] // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO) conference proceedings. 2018.*

9. ***Software*** *applications of infocommunication networks. Approaches formation to developing models and methods of evolution / A. B. Goldshtein, V. S. Elagin, O. E. Kyzyurov [et al.] // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications conference proceedings. 2018.*

10. ***Rahul W.*** *OSS/BSS for Converged Communication Networks. 2nd edn. ICT Serios. Elixir Panacea Consultancy Services. 2016.*


*Л. Н. Беркман, Л. В. Дакова, С. Ю. Даков, Н. В. Блаженный, О. В. Китура, К. В. Полонский*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЯМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ


*Приведены методы управления инфокоммуникационными сетями 5-го поколения в условиях неопределенности.*

*Исследования сверхсложных систем, в которые преобразуются современные инфокоммуникации с надстроенными над ними социальными сетями, базируются на нелинейных когнитивных методах, которые в настоящее время претендуют на роль базовой парадигмы в управлении инфокоммуникациями будущего.*

*Научная задача состоит в необходимости обеспечения эффективного и устойчивого управления инфокоммуникационными сетями в условиях на порядки высшей сетевой емкости, мультисервисности, удовлетворении соответствующих требований, предъявляемых к системам управления новыми гетерогенными сверхплотными сетями.*

*Для проведения исследований применены вероятностно-временные характеристики управления инфокоммуникациями.*

*В статье предложена мультиагентная модель управления, состоящая из большого числа агентов, обладающих ограниченной интеллектуальностью и представляющих заявки на услуги, и описываемые с помощью уравнений Колмогорова–Чепмена.*

*Получены аналитические зависимости общего числа интеллектуальных агентов в системе от интенсивностей поступления и обслуживания в телекоммуникационных сетях.*

*Показаны зависимости, позволяющие управление телекоммуникационными услугами при различных целевых функциях: минимизации числа простоя интеллектуальных агентов или, наоборот, максимизации их числа при необходимости резервирования ресурсов для ожидаемого всплеска поступления запросов.*

*Впервые отмечено, что управление может производиться заданием величины вероятности переходов интеллектуальных агентов, а оперативное управление мультиагентная система выполнит самостоятельно.*

**Ключевые слова:** интеллектуальный агент; вероятность; инфокоммуникации; модель; методы; свойства.

*L. N. Berkman, L. V. Dakova, S. Iu. Dakov, N. V. Blazhennyi, O. V. Kitura, K. V. Polonskyi*

**THE RESEARCH OF COGNITIVE METHODS OF INFOCOMMUNICATION MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY**

*The methods of management of the fifth generation infocommunication networks under conditions of uncertainty are shown.*

*The research of super-complex systems into which modern infocommunications with social networks superimposed on them turn is based on nonlinear cognitive methods, which currently claim the role of the basic paradigm in the management of intercommunications of the future.*

*The scientific research is to ensure efficient and sustainable management of infocommunication networks under conditions of higher network capacity, multiservices, meeting the appropriate requirements for control systems for new heterogeneous superdense networks.*

*The probabilistic-temporal characteristics of infocommunications management are used to carry out the research.*

*This article offers a multi-agent management model that consists of a large number of agents, which own limited intellectuality and submit requests for services; this model is described by the Chapman–Kolmogorov equation.*

*The analytical relations of the total number of intelligent agents in the system on receipt and service intensity in telecommunication networks are received.*

*The relations that enable the telecommunication service management with different target functions: minimization of the number of downtime of intelligent agents or, visa versa, maximization of their number when there is the need to reserve resources for the expected burst of requests are described.*

*It should be noted that control can be performed by specifying the probability value of transactions of intelligent agents, and the multi-agent system will perform the operational management independently.*

**Keywords:** intelligent agent; probability; infocommunications; model; methods; characteristics.