

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.021

**В.В. Казимир**, д-р техн. наук

**А.С. Посадська**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЛОГІК

**В.В. Казимир**, д-р техн. наук

**А.С. Посадская**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК

**Volodymyr Kazymyr**, Doctor of Technical Sciences

**Alina Posadska**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### NETWORK PLANNING IN REAL TIME MODE USING THE TEMPORAL LOGIC

*Досліджено проблеми роботи систем мережевого планування в режимі реального часу. Розглянуто використання математичного апарату темпоральних логік для визначення формальних властивостей процесів мережевого планування в режимі реального часу, які дають можливість контролювати і прогнозувати ці процеси. Також представлено застосування семантики пропозиційної логіки для формалізації вимог для виконання заданого плану робіт.*

**Ключові слова:** мережеве планування в режимі реального часу, темпоральні логіки, мережевий графік, формалізація властивостей.

*Исследованы проблемы работы систем сетевого планирования в режиме реального времени. Рассмотрено использование математического аппарата темпоральных логик для определения формальных свойств процессов сетевого планирования в режиме реального времени, которые дают возможность контролировать и прогнозировать эти процессы. Также представлено применение семантики пропозициональной логики для формализации требований для выполнения заданного плана работ.*

**Ключевые слова:** сетевое планирование в режиме реального времени, темпоральные логики, сетевой график, формализация свойств.

*The problems of work of network planning systems operating in real-time mode are investigated. The usage of the mathematical apparatus of temporal logic to determine the formal properties of processes of network planning in real time, which make it possible to monitor and forecast these processes, is considered in the article. The use of semantics for propositional logic for formalizing the requirements for performing work plan is presented.*

**Key words:** network planning in real-time, temporal logic, network schedule, formalization of properties.

**Вступ.** Нині в багатьох галузях використовується проектний метод. Для цього використовуються системи планування та управління, які дозволяють наочно аналізувати склад робіт, забезпечувати оптимальний порядок виконання поставленого комплексу завдань, а також дають можливість об'єктивно оцінити дії виконавців, хід виконання робіт і виробити додаткові заходи щодо підвищення ефективності виробництва [1].

Система мережевого планування в режимі реального часу (СМПРЧ) – це система, яка дозволяє моделювати і комплексно перебудовувати план виконання робіт в умовах зміни зовнішніх і внутрішніх факторів у реальному часі, а також прогнозує поведінку системи [2]. Оскільки СМПРЧ мають здатність до розвитку і зміни свого стану в часі, то виникає необхідність формалізувати вимоги до властивостей процесів мережевого планування з метою прогнозування поведінки системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На ринку програмного забезпечення вже є програмні засоби, які частково вирішують задачі оперативного планування і контролю, наприклад, MicroSCADA, ArcGIS, Worksection, Time Line, MSPProject, Spider,

Primavera Project Planner, ONLYOFFICE, Битрикс 24, Terrasoft CRM та ін. Вони застосовуються в управлінні транспортом, медичних системах, електронному бізнесі, телефонних мережах, енергетиці [3]. Однак вони позбавлені можливості якісного прогнозування і коригування поведінки системи.

Водночас активно розвиваються методи застосування темпоральних логік (TL). Розроблення і дослідження із застосуванням засобів представлення та оперування темпоральними залежностями неодноразово відзначені в роботах Е. Кларка, Т. Хензингера, Р. Алюра, О.П. Єремєєва, В.О. Захарова, Д.В. Царькова, В.А. Смирнова, М.К. Валієва та ін. [4; 5; 6; 7]. Прикладами програмних продуктів є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, системи автоматизованого проектування (G2, RWorks) [4; 8].

У цій статті розглянуто застосування TL для більш вузької галузі – для систем мережевого планування в режимі реального часу (РЧ), коли є потреба в переплануванні в короткі терміни, але з урахуванням необхідних умов, які задаються спочатку. Пропонується інтегрувати методи мережевого планування з математичним апаратом TL, щоб урахувати причинно-наслідкові зв'язки в умовах часу.

**Метою статті** є розгляд використання математичного апарату темпоральних логік для визначення формальних властивостей процесів мережевого планування в режимі реального часу, орієнтованих на аналітичне оброблення даних для оцінювання розвитку ситуацій з метою модифікації плану.

**Аналіз наявних систем мережевого планування в режимі реального часу.** На ринку програмних продуктів можна виділити такі програмні засоби, які тією чи іншою мірою містять інструменти мережевого планування, що працюють у режимі реального часу:

- системи мережевого планування, що використовують у роботі мережеві графіки;
- геоінформаційні системи (ГІС);
- CRM-системи.

Вони застосовуються для вирішення завдань управління проектами, використовуючи методи мережевого планування, такі як діаграма Ганта, метод критичного шляху, PERT, GERT та їх модифікації [9].

Дуже часто розробники об'єднують всі системи в одну, а групувати їх можна помодульно. Розглянемо деякі приклади таких систем.

*MicroSCADA Pro (ABB)*. Система реального часу, яка заснована на алгоритмі пошуку місця пошкодження, а також відновлення та реконфігурації мережі [10]. Її функціональні можливості дозволяють застосування нових додатків у режимі реального часу для поліпшеного моніторингу мережі та управління перебоями в електропостачанні. Дає можливість миттєво визначити місцезнаходження аварії і вказати його точне знаходження на географічній карті. Однак є багато недоробок у підтриманні роботи системи в режимі реального часу.

*Time Line (Time Line Solutions)*. У дистрибутив пакета входить генератор звітів Crystal Report. Цей пакет багатофункціональний і простий у використанні, проте на сьогодні його продаж припинено [2].

ArcGIS Tracking Analyst – модуль геоінформаційної системи ArcGIS (ESRI), призначений для відображення та аналізу даних (з архіву темпоральних даних або даних, що надходять у реальному часі) [11]. Дозволяє вирішувати такі завдання, як планування подій, супровід польотів і прокладання маршруту, рятувальні заходи, контроль дотримання розкладів і маршрутів, складання розкладів і графіків роботи та ін. Однак продукт має високу вартість, а також незручність розбиття функцій за різними модулями, які необхідно докуповувати додатково.

*Asta Powerproject (Eleco)*. Система управління проектами, яка об'єднує можливості календарно-мережевого, ресурсного і вартісного планування. Є центральним модулем

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

багатокористувальницької системи з єдиною базою даних [12]. Має такі недоліки, як висока вартість ліцензії та труднощі навчання.

*Бітрікс 24 (Bitrix)*. Система реального часу, яка являє собою повний комплект інструментів для організації роботи компанії [13]. Проста у використанні, адже робота із сервісом схожа на використання соціальної мережі («жива стрічка», де буде видно, хто додав задачу, завантажив документ, створив робочий звіт і т. ін.). Завдання над проектом можна представити у вигляді діаграми Ганта, де видно, скільки всього завдань по проекту, скільки з них завершено і скільки знаходиться в роботі, які завдання прострочені, а які – взагалі без терміну. Ведеться звітність за завданнями (скільки часу кожен співробітник витратив на окреме завдання або на проект, скільки завдань у роботі, скільки завершено тощо). До недоліків можна віднести саму діаграму Ганта (погано видно взаємозв'язок робіт, відсутнє пряме масштабування шкали та ін.) і відсутність механізму створення зв'язків між завданнями.

*Microsoft Project (Microsoft)* є найбільш відомим і поширеним продуктом, який дозволяє якісно управляти проектами з мінімальними витратами часу і коштів [14]. Застосовується для роботи з проектами малого та середнього масштабу. Однак це досить складна система, як і, наприклад, ClearQuest розрахована на меншу кількість завдань, ніж користувачеві необхідно; не всю інформацію про проект можна внести в систему; не вистачає функціоналу, недешева вартість ліцензії.

Порівняльна характеристика програмних продуктів залежно від властивостей СМІРВ, які вони повинні задовольняти, наведена в табл.

Таблиця

Порівняльний аналіз функціональних характеристик програмних пакетів

Властивості	Системи					
	Micro SCADA Pro	Time Line	ArcGIS Tracking Analyst	Asta Power project	Бітрікс 24	MS Project
Визначення потреби у виробничих ресурсах станом на будь-який момент часу	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Отримання оперативної інформації за всіма етапами розроблення	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-
Прогнозування можливості відхилень від плану	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Реакція системи на подію протягом часу, критичного для цієї події	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Реагування на події, що відбуваються одночасно, протягом інтервалів часу, критичних для цих подій	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-

Таким чином, можна зробити висновок, що всі перераховані системи мають досить широке коло функцій мережевого планування й управління в режимі реального часу. Однак у них відсутнє прогнозування процесів мережевого планування. Для цього пропонується використовувати формули темпоральної логіки, вбудовуючи їх у систему обмежень процесів планування.

**Математичний апарат темпоральних логік.** Темпоральні логіки використовуються для опису обмежень на можливі послідовності подій і пов'язані з цим тимчасові обмеження. Існує безліч різновидів TL, однак для формалізації властивостей процесів мережевого планування пропонується використовувати пропозиціональну темпоральну логіку лінійного часу (PLTL), в якій всі події утворюють лінійну послідовність у часі.

Алфавіт PLTL [15; 16] поряд з операціями числення висловлювань містить темпоральні оператори: X – «у наступному стані», U – «поки що», F – «коли-небудь», G – «завжди». Формули PLTL утворюються з використанням пропозиціональних змінних, що означають те чи інше висловлювання (властивість), яке може набувати значення *true* або *false*.

Прикладами формул PLTL є:

$p_i$ , якщо  $p_i \in AP$ , де AP – множина пропозиціональних змінних;

$(\varphi \& \psi)$ , якщо  $\varphi$  і  $\psi$  – формули;

$(\varphi \vee \psi)$ ;

$(X\varphi)$  – «у наступний момент часу буде правильно  $\varphi$ »;

$(F\varphi)$  – «колись у майбутньому буде правильно  $\varphi$ »;

$(G\varphi)$  – «завжди правильно  $\varphi$ »;

$(\varphi U \psi)$  – « $\varphi$  залишається правильною, поки не стане правильною  $\psi$ ».

Семантика темпоральної логіки визначається за логічною моделлю, що задається темпоральною структурою Кріпке, якій відповідає система множин:

$$M = (AP, S, S_0, R, L),$$

де AP – множина пропозиціональних змінних;

S – кінцеве множина станів;

$S_0 \in S$  – початковий стан;

$R \subseteq S \times S$  – відношення переходів між станами;

$I : S \rightarrow 2AP$  – функція інтерпретації, яка визначає для кожного стану значення пропозиціональних змінних.

Інтерпретація  $I = \langle N, \leq, \xi \rangle$ ,

де  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$  – це послідовність станів обчислень, лінійно впорядкована відношенням переходів  $\leq$ ;

оцінка  $\xi : N \times AP \rightarrow \{true, false\}$  – вказує, які події відбуваються в ті чи інші моменти часу.

Для систем планування реального часу більше підходить модифікація PLTL – параметрична темпоральна логіка реального часу – Timed Propositional Temporal Logic (TPTL) [17; 18; 19], яка дозволяє виражати властивості з використанням заданих часових меж. У формулах TPTL допускається використання бінарних відношень ( $<$ ,  $>$ ,  $=$ ,  $\leq$ ,  $\geq$ ), які обмежують час дії формули, наприклад, таким чином:  $G_{<5}\varphi$  – « $\varphi$  правильно завжди на інтервалі до 5 одиниць часу».

Застосуємо апарат TPTL для формулювання вимог до плану робіт, одночасно поширивши використання бінарних операцій на пропозиціональні змінні.

**Застосування апарату темпоральних логік для мережевого планування в режимі реального часу.** За основу візьмемо план робіт, представлений у вигляді мережевого графіка. Зведемо його до моделі Кріпке M. Для цього перенесемо всі роботи на часову шкалу в порядку їх черговості рис. 1.

До основних параметрів мережного графіка відносяться: тривалість виконання всього плану, час звершення подій, терміни виконання окремих робіт та їх резерви часу.

Важливим елементом, який підлягає обліку, є ресурси – трудові, матеріальні і грошові. Вони можуть бути обмежені, поновлювані і непоновлювані. Необхідно правильно розподіляти ресурси, наприклад, змістивши початок деяких робіт, що мають значні резерви часу, або визначення розподілу в часі завантаження поновлюваних ресурсів.

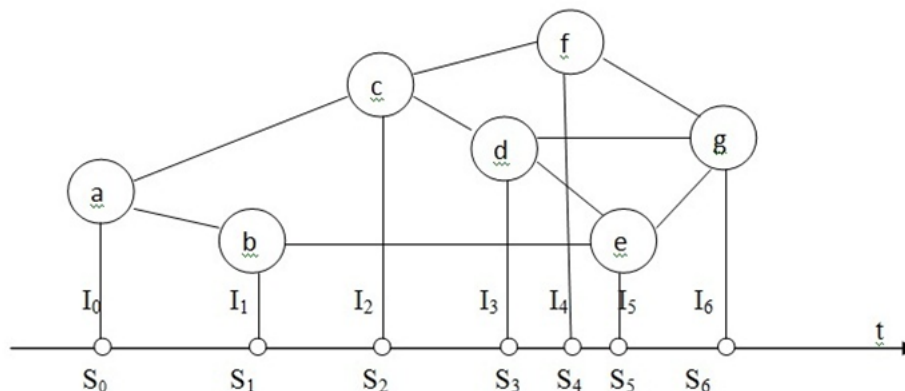


Рис. 1. Мережевий графік з проекцією робіт на часову шкалу

Сформулюємо можливі вимоги до плану робіт за допомогою формул TPTL:

$G(a \wedge r_1)$  – «робота  $a$  виконується завжди за наявності ресурсу  $r_1$ »;

$G(b \wedge r_{3 \geq \min})$  – «робота  $b$  виконується завжди при обмеженості ресурсу  $r_3 \geq \min$ »;

$G(request \Rightarrow AF_{\leq 10} response)$  – «реакція на будь-яку подію наступить не пізніше, ніж через 10 одиниць часу»;

$A[not\ execute U_{\leq 15} execute]$  – «робота буде виконана не більше ніж через 15 одиниць часу» та ін.

Перевірка вимог, заданих за допомогою формул TPTL, здійснюється за допомогою процедури model cheking. Причому як темпоральну модель структури Кріпке можна використовувати різні формальні апарати – наприклад, мережі Петрі [20]. У нашому випадку такою моделлю може бути сам мережевий графік, спроектувати на вісь часу (рис. 1). Структурою Кріпке для цього графіка буде послідовність станів робіт:

$$\pi = s_0 \rightarrow s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow s_4 \rightarrow s_5 \rightarrow s_6,$$

де  $s_0, \dots, s_6$  – стани.

Нехай для стану  $s$  моделі  $M$  і темпоральної формули  $\varphi$  запис  $M : M|\varphi$  означає, що формула  $\varphi$  істинна у стані  $s$  моделі  $M$ .

Оскільки після кожної зміни стану перед кожною новою роботою формули TPTL повинні перевірятися на можливість виконання умов, то алгоритм перевірки виконання формули  $\varphi$  для моделі  $M : M|\varphi$  буде полягати в такому:

- декомпозиція формули  $\varphi$  на підформули для кожного стану;
- аналіз змінних і констант у підформулі, при цьому враховуючи діапазони обмежень;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи 1;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи 2;
- . . . . .;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи  $i$ ;
- після кожного виконання стану перевірка виконання формули  $\varphi$  для виконання наступних станів;
- перевірка, чи входить початковий стан моделі в число станів, що задовольняють формулу  $\varphi$ . Якщо ця умова виконується, то формула на цій моделі виконується, тобто

$$s_0 \in \{s|M, s|\varphi\} \rightarrow M|\varphi.$$

Нижче, для прикладу, наводиться UML-діаграма перевірки формули  $\varphi = G(b \wedge r_{3 \geq \min})$  за цим алгоритмом (рис. 2).

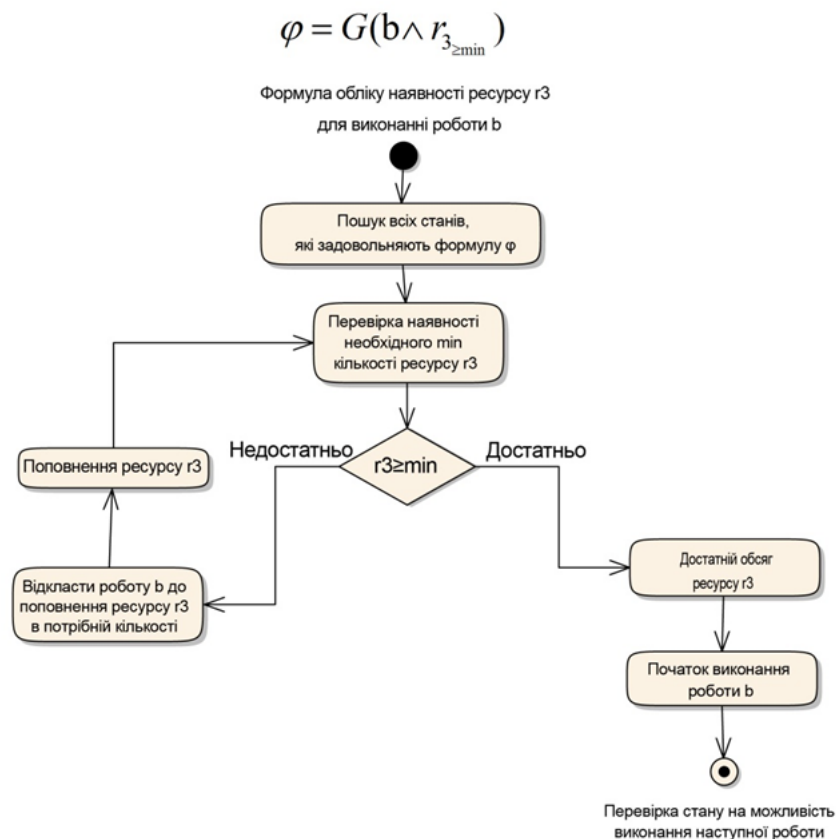


Рис. 2. UML-діаграма перевірки формули  $\varphi = G(b \wedge r_{3 \geq \min})$

**Висновки.** Мережеве планування в режимі реального часу потребує застосування додаткових заходів для контролю і прогнозування плану робіт, що виконується. З цією метою може бути використаний математичний апарат темпоральної логіки, який дозволяє формально визначити вимоги до плану робіт на темпоральній моделі, отриманій із мережевого графіка.

Метою подальших досліджень буде використання часових логік для вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації мережевого планування в реальному часі, а також створення для цього інформаційної технології у вигляді відповідної програмної системи.

#### Список використаних джерел

1. Кудрявцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Прес, 2005. – 238 с.
2. Сетевое планирование и управление. Методические указания по выполнению экономического раздела дипломного проекта / Михайловский экономический колледж-интернат. – Михайлов, 2007. – 17 с.
3. Управление производством. Сетевое планирование : учеб. пособие / И. А. Ларионова, О. О. Скрябин, Л. А. Фёдоров, Е. П. Караваев. – М. : МИСиС, 2009. – 53 с.
4. Еремеев А. П. Реализация интеллектуальных систем реального времени на основе сетей Петри с поддержкой темпоральных зависимостей / А. П. Еремеев, Ю. И. Королев // Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 88–94.
5. Еремеев А. П. Расширение возможностей моделирования временных зависимостей в интеллектуальных системах на основе применения темпоральных прецедентов / А. П. Еремеев, И. Е. Куриленко // Интеллектуальные системы : коллективная монография / под ред. В. М. Курейчика. – М. : Физматлит, 2013. – Вып. 6. – С. 89–118.
6. Clarke E., Emerson E. Design and synthesis of synchronization skeletons using Branching Time Temporal Logic // Lecture Notes in Computer Science. – 1981. – Vol. 131. – P. 52–71.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

7. *Emerson E., Clark E.* Using branching–time temporal logic to synthesize synchronization skeleton // *Science of Computer Programming.* – 1982. – № 2.– P. 241–266.
8. *Стоянова О. В.* Метод поддержки принятия решений по управлению временными аспектами проектов на промышленных предприятиях / О. В. Стоянова, А. И. Васицына // *Программные продукты и системы.* – 2012. – № 3. – С. 178–184.
9. *Коршунов Ю. М.* Математические основы кибернетики : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Коршунов. – 2 изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 424 с.
10. *ABB* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://new.abb.com/>.
11. *ArcGIS Tracking Analyst* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://nrtb.ru/products/arcgis\\_distrib/arcgis\\_modules/tracking\\_analyst.php](http://nrtb.ru/products/arcgis_distrib/arcgis_modules/tracking_analyst.php).
12. *Asta Powerproject* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astapowerproject.com/>.
13. *Битрикс24* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bitrix24.ru/>.
14. *ПО Microsoft* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.microsoft.com/ru-ru/softmicrosoft>.
15. *Pnueli A.* The temporal logic of programs // In *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Foundations of Computer Science.* – IEEE Computer Society Press, 1977. – P. 46–57.
16. *Pnueli A.* Applications of temporal logic to the specification and verification of reactive systems: a survey of current trends // In J.W. de Bakker, W.–P. de Roever, and G. Rozenberg, editors, *Current Trends in Concurrency, Lecture Notes in Computer Science.* – Springer–Verlag, 1986. – Vol. 224.– P. 510–584.
17. *Henzinger T. A.* Half–order modal logic: how to prove real–time properties // In *Proceedings of the Ninth Annual Symposium on Principles of Distributed Computing, ACM Press, 1990.* – P. 281–296.
18. *Henzinger T. A.* The temporal specification and verification of Real–Time Systems. PhD thesis, Stanford University, 1991. – 287 p.
19. *Henzinger T. A., Manna Z., and Pnueli A.* Temporal proof methodologies for real–time systems // In *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Principles of Programming Languages, ACM Press, 1991.* – P. 353–366.
20. *Казимир В. В.* Верификация реактивных систем с помощью формул темпоральной логики на E-сетевых моделях / В. В. Казимир // *Мат. машини і системи.* – 2002. – № 1. – С. 29–40.

УДК 004.942

**О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук

**О.О. Кряжич**, канд. техн. наук

Институт телекоммуникацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

### КУСКОВО-ПОЛИНОМИАЛЬНА АПРОКСИМАЦІЯ ЯРУЖНИХ ФУНКЦІЙ

**А.Н. Трофимчук**, д-р техн. наук

**О.А. Кряжич**, канд. техн. наук

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г. Киев, Украина

### КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ОБРАЖНЫХ ФУНКЦИЙ

**Oleksandr Trofymchuk**, Doctor of Technical Sciences

**Olha Kriazhych**, PhD in Technical Sciences

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### PIECEWISE POLYNOMIAL APPROXIMATION OF GULLY FEATURES

*Розглянуто підхід до вирішення задач кусково-поліноміальної апроксимації з застосуванням методу Дж. Зойтендейка. Запропоновано застосування методу можливих напрямків для вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями. Наведено алгоритм вирішення подібних задач для реалізації методу за допомогою обчислювальної техніки. Розглянуто можливі аспекти практичного застосування та зроблено висновки.*

**Ключові слова:** функція, поліном, апроксимація, наближення, нерівність.

*Рассмотрен подход к решению задач кусочно-полиномиальной аппроксимации с применением метода Дж. Зойтендейка. Предложено использование метода возможных направлений для решения задач чебышевского приближе-*