

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 28 (67) № 2 2017

**Київ
2017**

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, в. о. директора Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Горбовий Артур Юліанович – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри інформаційної діяльності та документознавства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, в. о. завідувача кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Борис Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності безпека і управління інформацією, відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 1 від 29.08.2017 року).**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ЗМІСТ

Гусьнин А.В. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОБЛЕМ В ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ.....	1
Дубко В.О. МОДЕЛИ СОГЛАСОВАННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ.....	7
Єремєєв І.С., Дичко А.О. ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО ЯК СКЛАДНА СИСТЕМА.....	11
Єремєєв І.С. ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ПОЛІГОНІВ.....	16
Кисельов В.Б., Туранська О.С. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ПАКЕТА ДАНИХ МІЖ ДВОМА ВУЗЛАМИ В СИСТЕМІ CASTALIA.....	20
Кузьменко Б.В. ХОЛОДНИЙ ЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ І ХОЛОДНА ТРАНСМУТАЦІЯ ЯДЕР. РЕАКТОР РОССІ.....	24
Левченко В.В. ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННІ ОБ'ЄМНІ ВОЛНИ В РЕГУЛЯРНО-СЛОЙОУ СРЕДІ С ПРОСКАЛЬЗУВАННЯМ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА.....	27
Лисенко О.І., Явіся В.С. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОСУПУТНИКА.....	31
Новіков В.І. МЕТОД ЗБІЛЬШЕННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З НАДЛИШКОВОЮ КІЛЬКІСТЮ ВУЗЛІВ ПІД ЧАС СТЕЖЕННЯ ЗА ЦІЛЯМИ МОНІТОРИНГУ.....	38
Распопов В.Б. ІНЖЕНЕРНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО БЛОКУ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГА.....	44
Романюк А.В. ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	49
Sobolev V.A. PRACTICAL APPROACH TO ENVIRONMENTALLY SAFE VITAL ACTIVITY IN MODERN CONDITIONS.....	55
Соколовська Н.І., Кузьменко Б.В. ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ: ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ.....	64

CONTENTS

Gusynin A.V.

MODIFIED METHOD OF DIFFERENTIAL TRANSFORMATIONS
FOR SOLVING NON-LINEAR PROBLEMS INTECHNOLOGICAL SPHERE1

Dubko V.O.

MODELS OF HARMONIZATION OF LOCAL
AND GLOBAL CHARACTERISTICS FOR MULTI-ELEMENT EVOLVING SYSTEMS7

Yeremieiev I.S., Dychko A.O.

MUNICIPAL ENGINEERING AS COMPLEX SYSTEM.....11

Yeremieiev I.S.

THE LANDFILL CONDITION MONITORING PROCEDURES' INTELLECTUALIZATION16

Kyselov V.B., Turanska O.S.

RESEARCH RELIABILITY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS20

Kuzmenko B.V.

COLD FUSION AND FUSION NUCLEI. REACTOR ROSSI.....24

Levchenko V.V.

FLAT-LEAVED VOLUME WAVES IN THE REGULARLY-STRATIFIED ENVIRONMENT
WITH SLIPPING ON BORDERS OF DIVISION27

Lysenko O.I., Yavisia V.S.

ANALYSIS METHODS OF CONTROL SIGNALS FOR ORIENTATION
AND STABILIZATION SYSTEMS OF NANO-SATELLITES.....31

Novikov V.I.

A METHOD TO INCREASE THE TIME OF OPERATION OF A WIRELESS SENSOR NETWORK
WITH AN EXCESSIVE NUMBER OF NODES WHILE TRACKING THE TARGETS.....38

Raspopov V.B.

THE MATHEMATICAL ENGINEERING FOR THE APPLIED EXPERT SYSTEMS.....44

Romaniuk A.V.

NODAL OBJECTIVE CONTROL FUNCTIONS OF THE WIRELESS SENSOR
NETWORKS FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE MONITORING49

Sobolev V.A.

PRACTICAL APPROACH TO ENVIRONMENTALLY SAFE
VITAL ACTIVITY IN MODERN CONDITIONS55

Sokolovska N.I., Kuzmenko B.V.

ENERGY SECURITY OF THE STATE AND REGIONS:
SOME REGULATORY AND LEGAL ASPECTS64

УДК 629.782.05

Гусынин А.В.

ООО «Тич Консалтинг Україна»

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОБЛЕМ В ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЕ

Рассмотрено применение модифицированного метода дифференциальных преобразований для решения проблем в техногенной сфере, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями. Подход основан на решении уравнений в области изображений с аппроксимацией нелинейных членов уравнения полиномами Адомиана и дальнейшим получением оригинала решения в виде ряда Тейлора. Приведены примеры решения дифференциальных уравнений с разными типами нелинейностей и показана эффективность применения этого подхода.

Ключевые слова: техногенная проблема, нелинейные дифференциальные уравнения, дифференциальные преобразования, полиномы Адомиана, модифицированный метод.

Постановка проблемы. Обеспечение безопасности населения и территорий в связи с последствиями явлений техногенного характера, их прогноз и оценка степени риска является одним из важнейших социально-экономических факторов. Многие задачи техногенного характера, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями и дифференциальными уравнениями в частных производных, рассматриваются в нелинейной постановке. С помощью нелинейных дифференциальных уравнений описывается, например, динамика гравитационного растекания жидкости на поверхности при аварии на железнодорожном транспорте при разрушении цистерн [1], определяется концентрационная зависимость интенсивности осадкообразования от ионного состава атмосферы над зоной выброса опасных радиоактивных и химических веществ [2] и др. Большинство нелинейных дифференциальных уравнений не имеют точного аналитического решения, и для их решения применяются различные приближенные и численные методы. Одним из таких методов является численно-аналитический метод дифференциальных преобразований, основанный на преобразованиях Тейлора и предложенный академиком Г.Е. Пуховым [3–4]. Основным преимуществом этого метода является то, что он может быть применен непосредственно к решению нелинейных уравнений без их предварительной линеаризации, допускает получение решения в аналитическом виде и значительно уменьшает объем вычислительных работ. Метод нашел успешное применение в различных отраслях науки и техники [5–9].

Часто при реализации этого метода возникают трудности, связанные со сложной нелинейностью дифференциальных уравнений. Одним из направлений в преодолении этих трудностей является применение полиномов Адомиана [10, 11]. Этот подход позволяет сложные нелинейности дифференциальных уравнений аппроксимировать полиномами Адомиана и получить решение нелинейного дифференциального уравнения в виде ряда, члены которого определяются известными рекуррентными соотношениями для компонент полиномов Адомиана.

Применение полиномов Адомиана в методе дифференциальных преобразований (модифицированный метод дифференциальных преобразований) значительно упрощает решение нелинейных дифференциальных уравнений и расширяет сферу применения этого метода.

Целью статьи является оценка возможностей и эффективности применения модифицированного метода дифференциальных преобразований (ММДП) для решения проблем в техногенной сфере, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями.

Изложение основного материала. Дифференциальные преобразования. Дифференциальные преобразования позволяют заменить в математической модели динамики объекта функции $x(t)$ непрерывного аргумента t их спектральными моделями в форме дискретных функций $x(k)$ целочисленного аргумента $k=0, 1, 2, \dots$

Дифференциальные преобразования функции имеют следующий вид:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=t_0} \quad (1)$$

где $x(t)$ – оригинал функции, представляющий собой непрерывную, бесконечное число раз дифференцируемую и ограниченную вместе со всеми своими производными функцию действительного аргумента t ; $x(k)$ – дифференциальное изображение оригинала (дифференциальный спектр), представляющее собой дискретную функцию целочисленного аргумента $k=0, 1, 2, \dots$; H – масштабная постоянная, имеющая размерность аргумента t и часто равная отрезку $0 \leq t \leq H$, на котором рассматривают функцию $x(t)$.

Обратным преобразованием, позволяющим по изображению $x(k)$ получить оригинал $x(t)$ в форме степенного ряда Тейлора, является:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k). \quad (2)$$

Следовательно,

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0}. \quad (3)$$

Величина H должна быть меньше радиуса сходимости ряда ρ , который можно определить на основе признака сходимости Даламбера:

$$\rho = \overline{\lim}_{k \rightarrow \infty} \left| \frac{X(k)}{H^k} : \frac{X(k+1)}{H^{k+1}} \right| = H \overline{\lim}_{k \rightarrow \infty} \left| \frac{X(k)}{X(k+1)} \right|. \quad (4)$$

В частных случаях, при $t_0=0$ выражения (2) и (3) имеют вид:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k). \quad (5)$$

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{t^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0} \quad (6)$$

Полиномы Адомиана. В основу применения метода полиномов Адомиана для решения нелинейного дифференциального уравнения положено разбиение уравнения на линейные и нелинейные составляющие и аппроксимация неизвестных нелинейных составляющих уравнения полиномами Адомиана.

Рассмотрим следующее нелинейное дифференциальное уравнение в операторной форме:

$$Px + Nx + Qx = c, \quad (7)$$

где $x = x(t)$; $P = \frac{d^n}{dt^n}$ – нелинейный дифференциальный оператор;

$n > 1$; $N = \frac{d}{dt}$; – линейный дифференциальный оператор; Q – нелинейный оператор нелинейной функции $f = f[x(t)]$; c – правая часть уравнения.

В соответствии с методом полиномов Адомиана нелинейные члены уравнения аппроксимируются рядом:

$$Qx = \sum A_m \quad (8)$$

а решение искомого уравнения представляется в виде ряда:

$$x(t) = \sum x_m(t). \quad (9)$$

Полиномы Адомиана определяются выражением:

$$A_n = \frac{1}{n!} \left\{ \frac{d^n}{d\lambda^n} \left[Q \left(\sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i x_i \right) \right] \right\}_{\lambda=0}, \quad (10)$$

а их элементы для нелинейной функции $f = f[x(t)]$ вычисляются по формулам [12]:

$$\begin{aligned} A_0 &= f(x_0), \quad A_1 = x_1 f^{(1)}(x_0), \\ A_2 &= x_2 f^{(1)}(x_0) + \frac{1}{2!} x_1^2 f^{(2)}(x_0), \\ A_3 &= x_3 f^{(1)}(x_0) + x_1 x_2 f^{(2)}(x_0) + \frac{1}{3!} x_1^3 f^{(3)}(x_0), \\ A_4 &= x_4 f^{(1)}(x_0) + \left(x_1 x_3 + \frac{1}{2!} x_2^2 \right) f^{(2)}(x_0) + \\ &+ \frac{1}{2!} x_1^2 x_2 f^{(3)}(x_0) + \frac{1}{4!} x_1^4 f^{(4)}(x_0), \\ A_5 &= x_5 f^{(1)}(x_0) + (x_2 x_3 + x_1 x_4) f^{(2)}(x_0) + \\ &+ \frac{1}{2!} (x_1^2 x_3 + x_1 x_2^2) f^{(3)}(x_0) + \frac{1}{3!} x_1^3 x_2 f^{(4)}(x_0) + \frac{1}{5!} x_1^5 f^{(5)}(x_0) \dots \end{aligned} \quad (11)$$

Компоненты решения x_0, x_1, x_2 определяются с использованием рекуррентных соотношений:

$$x_0 = f, \quad x_{k+1} = -P^{-1} R x_k - P^{-1} A_k, \quad k \geq 0. \quad (12)$$

В работе [13] предложен эффективный алгоритм, использующий для вычисления полиномов Адомиана только операции сложения и умножения:

$$A_0 = f(x_0), \quad (13)$$

$$A_n = \sum_{k=1}^n C_n^k f^{(k)}(x_0), \quad n \geq 1,$$

где

$$C_n^1 = x_n, \quad n \geq 1, \quad C_n^k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-k} (j+1) x_{j+1} C_{n-1-j}^{k-1}, \quad 2 \leq k \leq n. \quad (14)$$

Модифицированный метод дифференциальных преобразований

С учетом свойств дифференциальных преобразований компоненты дифференциального изображения нелинейной функции $f[x(t)]$ искомого дифференциального уравнения при $t_0=0$ имеют вид [14]:

Сравнение выражений (11) и (15) показывает, что компоненты дифференциального изображения оригинала нелинейной функции и соот-

ветствующие компоненты полинома Адомиана имеют одинаковую математическую структуру. Это означает, что компоненты дифференциального изображения оригинала нелинейной функции могут быть получены из соответствующих компонентов полинома Адомиана путем замещения каждой компоненты решения $x_k(t)$ соответствующим компонентом дифференциального изображения $x(k)$ того же индекса.

$$\begin{aligned} F(3) &= X(3)f^{(3)}(X(0)) + X(1)X(2)f^{(2)}(X(0)) + \frac{1}{3!}X(1)^3 f^{(3)}(X(0)), \\ F(4) &= X(4)f^{(4)}(X(0)) + X(1)X(3) + \frac{1}{2!}X(2)^2 f^{(2)}(X(0)) + \\ &+ \frac{1}{2!}X(1)^2 X(2)f^{(3)}(X(0)) + \frac{1}{4!}X(1)^4 f^{(4)}(X(0)), \\ F(5) &= X(5)f^{(5)}(X(0)) + X(2)X(3) + X(1)X(4)f^{(2)}(X(0)) + \frac{1}{2!}X(1)^2 X(3) + \\ &+ X(1)X(2)^2 f^{(3)}(X(0)) + \frac{1}{3!}X(1)^3 X(2)f^{(4)}(X(0)) + \frac{1}{5!}X(1)^5 f^{(5)}(X(0)), \dots \end{aligned} \quad (15)$$

В работе [14] показано, что такое замещение может быть применено к любым видам нелинейностей дифференциального уравнения. Таким образом, для решения нелинейных дифференциальных уравнений можно применить комбинированный метод дифференциальных преобразований с аппроксимацией нелинейной части уравнения полиномами Адомиана по такому алгоритму. Составляется спектральная модель искомого дифференциального уравнения. В этой модели дифференциальное изображение оригинала нелинейной функции $F(k)$ замещается компонентами \tilde{A}_k , которые получаются из компонентов A_k полинома Адомиана путем замещения в нем каждого элемента x_k на соответствующее дифференциальное изображение x_k того же индекса k . Затем вычисляются дискреты дифференциального изображения уравнения и с учетом (2) или (5) получают оригинал решения искомого дифференциального уравнения.

Учитывая наличие эффективных методов вычисления полиномов Адомиана, такой подход позволяет преодолеть математические трудности при вычислении дифференциальных изображений сложных нелинейностей и существенно снизить вычислительные затраты при нахождении приближенного решения нелинейного дифференциального уравнения.

Примеры применения модифицированного метода

Ниже представлены примеры применения модифицированного метода дифференциальных преобразований к решению нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, используемых в моделировании задач техногенного характера, и дано сравнение полученных результатов с точным решением.

Пример 1. Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение с квадратичной правой частью [15]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = 2x(t) - x^2(t) + 1, \quad x(0) = 0. \quad (16)$$

Точное решение данной задачи имеет вид:

$$x(t) = 1 + \sqrt{2} \tanh \left(\sqrt{2}t + \frac{1}{2} \log \left(\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1} \right) \right).$$

С учетом свойств дифференциальных преобразований запишем спектральную модель задачи (16) в виде:

$$\begin{aligned} (k+1)X(k+1) &= 2X(k) - \tilde{A}_k + \sigma(k), \\ X(0) &= 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{где } \sigma(k) = \begin{cases} 1, & k=0 \\ 0, & k \geq 1. \end{cases}$$

В соответствии с процедурой (11) для нелинейной части уравнения (16) $f[x(t)] = x^2(t)$ вычисляем компоненты A_k полиномов Адомиана и по ним соответствующие компоненты \tilde{A}_k для замещения ими компонент дифференциальных изображений нелинейной части уравнения:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_0 &= X^2(0), \quad \tilde{A}_1 = 2X(0)X(1), \quad \tilde{A}_2 = X^2(1) + 2X(0)X(2), \\ \tilde{A}_3 &= 2X(0)X(3) + 2X(1)X(2), \\ \tilde{A}_4 &= 2X(0)X(4) + 2X(1)X(3) + X^2(2), \\ \tilde{A}_5 &= 2X(0)X(5) + 2X(2)X(3) + X(1)X(4) \end{aligned}$$

Подставляя значения \tilde{A}_k в (17) получим соответствующие дифференциальные дискреты:

$$\begin{aligned} X(0) &= 0, \quad X(1) = 1, \quad X(2) = 1, \quad X(3) = \frac{1}{3}, \quad X(4) = \\ &= -\frac{1}{3}, \quad X(5) = -\frac{7}{15}, \quad X(6) = -\frac{7}{45}, \dots \end{aligned}$$

Следовательно, с учетом (5) приближенное решение уравнения (16) при $H=1$ имеет вид:

$$x(t) = t + t^2 + \frac{1}{3}t^3 - \frac{1}{3}t^4 - \frac{7}{15}t^5 - \frac{7}{45}t^6 + \dots \quad (18)$$

Это решение является разложением в ряд Тейлора точного решения

$$x(t) = 1 + \sqrt{2} \tanh \left(\sqrt{2}t + \frac{1}{2} \log \left(\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1} \right) \right).$$

На рис. 1 и в табл. 1 показано сравнение между точным решением и решением по модифицированному методу дифференциальных преобразований, а также приведена относительная ошибка решения, полученного по ММДП с использованием 5 дискрет дифференциального изображения исходного дифференциального уравнения (16).

В соответствии с процедурой (11) для нелинейной части уравнения (19) вычисляем компоненты полиномов Адомиана и соответствующие компоненты для замещения ими компонент дифференциальных изображений:

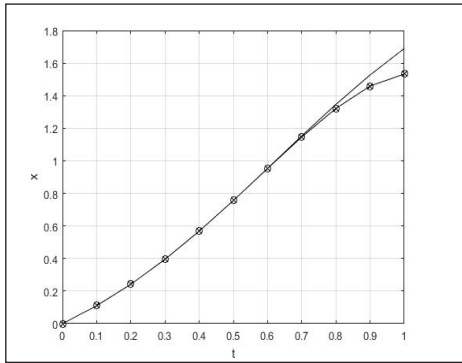


Рисунок 1. Сравнение точного решения (–) и решения по ММДП (⊗), полученного с учетом 5 дискрет для примера 1

Таблица 1

Относительная ошибка решения примера 1

t	Точное решение	ММДП	ε_r
0	0	0	0
0.1	0.110295	0.110295	8.07e-08
0.2	0.241977	0.241984	4.26e-06
0.3	0.395105	0.395166	3.62e-05
0.4	0.567812	0.568021	1.24e-04
0.5	0.756014	0.756250	1.39e-04
0.6	0.953566	0.952512	6.24e-04
0.7	1.152949	1.145867	4.19e-03
0.8	1.346364	1.321216	1.49e-02
0.9	1.526911	1.458738	4.04e-02
1.0	1.689498	1.533333	9.24e-02

Пример 2. Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение с начальными условиями [14; 16]:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = 2x(t) + 4x(t) \cdot \ln x(t), \quad x(t) > 0 \quad (19)$$

$$x(0) = 1, \quad \dot{x}(0) = 0$$

Точное решение этой задачи имеет вид: $x(t) = e^{t^2}$.

Спектральная модель задачи (19) имеет вид:

$$(k+1)(k+2)X(k+2) = 2X(k) + \tilde{A}_k, \quad (20)$$

$$X(0) = 1, \quad X(1) = 0$$

Подставляя значения \tilde{A}_k в (20), получим соответствующие дискреты дифференциального изображения:

$$X(0) = 1, X(1) = 0, X(2) = 1, X(3) = 0, X(4) = \frac{1}{2!}, X(5) = 0, X(6) = \frac{1}{3!}, X(7) = 0, X(8) = \frac{1}{4!}, \dots \quad (21)$$

и с учетом (5) при $H=1$ – решение искомого уравнения(19) в виде:

$$x(t) = 1 + t^2 + \frac{1}{2!}t^4 + \frac{1}{3!}t^6 + \frac{1}{4!}t^8 + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} [t^2]^k = e^{t^2} \quad (22)$$

На рис. 2 и в табл. 2 показано сравнение между точным решением и решением по модифициро-

ванному методу дифференциальных преобразований, а также приведена относительная ошибка решения, полученного ММДП с использованием 5 первых дискрет дифференциального изображения исходного дифференциального уравнения (19).

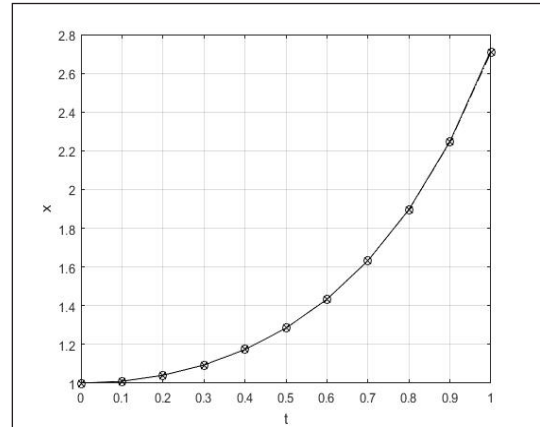


Рисунок 2. Сравнение точного решения (–) и решения по ММДП (⊗), полученных с учетом 5 первых дискрет для примера 2

Таблица 2

Относительная ошибка решения примера 2

t	Точное решение	ММДП	ε_r
0	1	1	0
0.1	1.010050	1.010050	3.07e-13
0.2	1.040810	1.040811	3.16e-10
0.3	1.094174	1.094174	1.84e-08
0.4	1.173511	1.173510	3.30e-07
0.5	1.284025	1.284017	3.12e-06
0.6	1.433329	1.433276	1.97e-05
0.7	1.632316	1.632060	9.42e-05
0.8	1.896481	1.895481	3.68e-04
0.9	2.247908	2.244560	1.23e-03
1.0	2.718282	2.708333	3.66e-03

Пример 3. Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение с экспоненциальной правой частью:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = 2e^{x(t)}, \quad 0 < t < 1, \quad (23)$$

$$x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0$$

Точное решение этой задачи имеет вид: $x(t) = -2\ln(\cos t)$ [14; 17].

Для применения модифицированного метода дифференциальных преобразований спектральную модель задачи (23) представим в следующем виде:

$$(k+1)(k+2)X(k+2) = 2\tilde{A}_k, \quad X(0) = 0, \quad X(1) = 0 \quad (24)$$

В соответствии с процедурой (11) для нелинейной части уравнения (23) $f[x(t)] = 2e^{x(t)}$ вычисляем компоненты A_k полиномов Адомиана и соответствующие компоненты \tilde{A}_k для замещения ими соответствующих компонентов дифференциальных изображений:

$$\begin{aligned}\tilde{A}_0 &= e^{x(0)}, \tilde{A}_1 = X(1)e^{x(0)}, \tilde{A}_2 = \left(X(2) + \frac{1}{2!}X^2(1) \right) e^{x(0)}, \\ \tilde{A}_3 &= \left(X(3) + X(1)X(2) + \frac{1}{3!}X^3(1) \right) e^{x(0)}, \\ \tilde{A}_4 &= \left(X(4) + X(1)X(3) + \frac{1}{2!}X^2(2) + \frac{1}{2!}X^2(1)X(2) + \frac{1}{4!}X^4(1) \right) e\end{aligned}$$

Подставляя значения \tilde{A}_k в (24), получим такие дискреты дифференциального изображения искомого уравнения:

$$\tilde{A}_4 = \left(X(4) + X(1)X(3) + \frac{1}{2!}X^2(2) + \frac{1}{2!}X^2(1)X(2) + \frac{1}{4!}X^4(1) \right) e$$

и с учетом (5) при H_1 – решение искомого уравнения (23) в виде:

$$y(x) = x^2 + \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{45}x^6 + \frac{17}{1260}x^8 + \dots, \quad (25)$$

На рис. 3 и в табл. 3 показано сравнение между точным решением и решением по модифицированному методу дифференциальных преобразований, а также приведена относительная ошибка решения, полученного ММДП с использованием 5 первых дискрет дифференциального изображения исходного дифференциального уравнения (23).

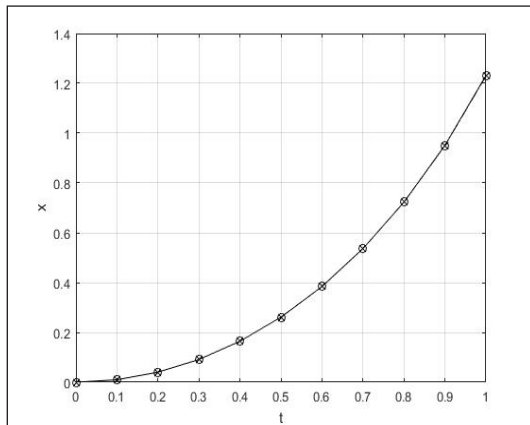


Рисунок 3. Сравнение точного решения (–) и решения по ММДП (⊗), полученных с учетом 5 первых дискрет для примера 3

Проведенные численные эксперименты по применению модифицированного метода дифференциальных преобразований к решению нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных также показали хорошую сходимость с точным решением [18].

Таблица 3

Относительная ошибка решения примера 3

t	Точное решение	ММДП	ϵ_r
0	0	0	0
0.1	0.010017	0.010017	1.29e-15
0.2	0.040270	0.040270	4.98e-12
0.3	0.091383	0.091383	6.58e-10
0.4	0.164458	0.164458	2.13e-08
0.5	0.261168	0.261168	3.21e-07
0.6	0.383930	0.383927	2.99e-06
0.7	0.536172	0.536147	2.00e-05
0.8	0.722781	0.722651	1.06e-04
0.9	0.950885	0.950303	4.73e-04
1.0	1.231253	1.228977	1.85e-03

Выводы. Рассмотрено применение модифицированного метода дифференциальных преобразований к решению нелинейных дифференциальных уравнений, которыми описываются многие проблемы в техногенной сфере. Метод основан на решении дифференциального уравнения в области изображений с аппроксимацией нелинейных членов уравнения полиномами Адомиана и дальнейшим получением оригинала решения в виде ряда Тейлора. Приведены примеры решения дифференциальных уравнений с разными типами нелинейностей (квадратичная, логарифмическая и экспоненциальная функция). Полученные численные результаты показали хорошую сходимость с точным решением. По сравнению со стандартным модифицированным методом дифференциальных преобразований позволяет преодолеть математические трудности, связанные со сложной нелинейностью дифференциальных уравнений, проще в применении и значительно сокращает объем вычислений.

Список литературы:

1. Басманов А.Е. Растекание жидкости на негладкой горизонтальной поверхности при аварии на железнодорожном транспорте / А.Е. Басманов, И.А. Горпинич // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 20. – С. 11–16.
2. Кустов М.В. Влияние концентрации ионов в атмосфере на интенсивность осадков над зоной выброса опасных веществ / М.В. Кустов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 20. – С. 93–99.
3. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.

4. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования и математическое моделирование физических процессов / Г.Е. Пухов. – К.: Наукова думка, 1986. – 160 с.
5. Баранов В.Л. Моделирование физических процессов методом одномерных дифференциальных преобразований краевых задач / В.Л. Баранов, С.В. Водопьян, Р.М. Костюченко // Проблемы информатизации и управления. – 2005. – Вып. 3 (14). – С. 25–30.
6. Збруцький О.В. Диференціальні Т-перетворення в задачах автоматичного керування рухом літальних апаратів / О.В. Збруцький, В.П. Гусинін, А.В. Гусинін. – К.: НТУУ КПІ, 2010. – 176 с.
7. Баранов В.Л. Дифференциально-тейлоровская модель оптимальных процессов управления / В.Л. Баранов // Электронное моделирование. – 2000. – Вып. 22, № 5. – С. 3–11.
8. Баранов В.Л. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр / В.Л. Баранов, В.В. Васильев. – К.: Наукова думка, 1989. – 296 с.
9. Баранов В.Л. Дифференциально-тейлоровская модель нелинейных краевых задач / В.Л. Баранов // Электронное моделирование. – 2000. – В. 22, № 14. – С. 25–31.
10. Fatoorehchi H., Abolghasemi H. Improving the differential transform method: A novel technique to obtain the differential transforms of nonlinearities by the Adomian polynomials // Applied Mathematical Modeling. – 2013. – Vol. 37, Issue 8. – P. 6008–6017.
11. Elsaid A. Fractional differential transform method combined with the Adomian polynomials // Appl. Math. Comput. – 2012. – V.218(12). – P. 6899–6911.
12. Adomian G. Solving frontier problems of physics: the decomposition method. – Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1994.
13. Duan J.S. Convenient analytic recurrence algorithms for the Adomian polynomials // Appl. Math. Comput. – 2011. – V.217(13). – P. 6337–6348.
14. Ebaid A. On a general formula for computing the one-dimensional differential transform of nonlinear functions and its applications // Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics. – 2012. – Harvard, Cambridge, USA. – P. 92–97.
15. Elsaid A. Adomian polynomials: a powerful tool for iterative methods of series solution of nonlinear equation // Journal of Applied Analysis and Computation. – 2012. – Vol. 2, No. 4. – P. 381–394.
16. Chang S.-H., Chang I.-L. A new algorithm for calculating one-dimensional differential transform of nonlinear functions // Appl. Math. Comput. – 2008. – V. 195(2). – P. 799–808.
17. Vahidi A.R., Hasanzade M. Restarted Adomian's Decomposition Method for the Bratu-Type Problem // Applied Mathematical Sciences. – 2012. – Vol. 6, №10. – P. 479–486.
18. Kaya D. The use of Adomian decomposition method for solving a specific non-linear partial differential equations // Bull. Belg. Math. Soc. – 2002. – No. 9. – P. 343–349.

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ПРОБЛЕМ У ТЕХНОГЕННІЙ СФЕРІ

Розглянуто застосування модифікованого методу диференціальних перетворень для розв'язку проблем у техногенній сфері, що описуються нелінійними диференціальними рівняннями. Підхід засновано на розв'язку рівнянь в області зображень з апроксимацією нелінійних членів рівняння поліномами Адоміана та подальшим отриманням оригіналу розв'язку у вигляді ряду Тейлора. Наведено приклади розв'язку диференціальних рівнянь із різними типами нелінійності та показана ефективність застосування цього методу.

Ключові слова: техногенна проблема, нелінійні диференціальні рівняння, диференціальні перетворення, поліноми Адоміана, модифікований метод.

MODIFIED METHOD OF DIFFERENTIAL TRANSFORMATIONS FOR SOLVING NON-LINEAR PROBLEMS IN TECHNOLOGICAL SPHERE

Application of modified method of differential transformations for solving problems in technological sphere, which are described by non-linear differential equations is considered. The approach is based on solving equations in the image field with approximation of non-linear terms of differential equation by corresponding polynomials Adomian and henceforth obtaining of original of solution as a Taylor series. Solutions of differential equations with different nonlinear types are presented and effectiveness of proposed method application has been shown.

Key words: technological problem, nonlinear differential equations, differential transformations, polynomials Adomian, modified method.

Дубко В.О.

Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Нежинский агротехнический институт»

МОДЕЛИ СОГЛАСОВАННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены особенности описания и моделирования локальных и глобальных показателей многоэлементных систем.

Ключевые слова: системные переменные, коллективные переменные, надежность.

Постановка проблемы. Каноническая теория надежности базируется на утверждении, что интерес представляют распределения состояний системы, а не конкретные ее случайные реализации. Как следствие, при оценках показателей систем используют среднестатистические показатели. Но ориентация только на осредненные характеристики при принятии решений, проектировании и эксплуатации технических, хозяйственных объектов заведомо допускает катастрофические последствия как для человека, так и для его среды обитания. Такой подход привел к представлению о допустимости процента катастроф, например, при транспортных перевозках.

Однако возрастание интенсивности воздействий на среду обитания человека в результате как хозяйственной деятельности, так и иных способов ее потребления неизбежно ведет к исчерпанию ее ресурсов, адаптационных возможностей.

Стали фактом постоянные локальные превышения норм предельно допустимых концентраций вредных веществ, особенно в крупных городах. Последнее объясняется и тем, что механизм переноса струй от промышленных предприятий, рассеивание выбросов, в отличие от молекулярной диффузии, осуществляется на большие расстояния крупными агрегатами. Визуально это выражается как меандрирование струи (случайное колебание по отношению к среднему направлению переноса от источника), ее разрывы, выпадение промышленной пыли «пятнами». Если же ориентироваться на осредненные характеристики по достаточно большим пространственно-временным масштабам, то загрязнения могут соответствовать нормам. Доказательством неприемлемости при проектировании систем допустимости процента катастроф могут служить и аварии на

атомных станциях в Чернобыле и в префектуре Фукусима.

Понимание катастрофичности последствий не только антропогенных, но природных катаклизмов для жизни привело к необходимости более осторожного подхода при принятии решений по проведению каких-либо крупномасштабных преобразований (экспериментов) в окружающей среде, пересмотру концепции, расчета надежности, прогноза (планирование и принятие опережающих решений), риска.

Отметим, что при оценке надежности взаимозависимых систем надежность всей многоэлементной системы, даже при высокой надежности каждого из ее элементов, резко уменьшается, если для сбоя, прекращения работы системы достаточно разрушения одного или нескольких элементов. Примеры таких объектов, ситуаций можно найти в системах городского хозяйства (трубопроводы, канализационные системы и др.).

Эффективным методом, позволяющим предвидеть и снизить, а в некоторых случаях и исключить возможные катастрофические последствия, является моделирование. Сложность состоит в том, что природно-технические и социальные системы многокомпонентные, с большим числом связей между формирующими их элементами, имеют свою историю и соизмеримость потоков, которыми системы обмениваются с окружением (то есть являются открытыми динамическими системами – ОДС). Уже одно это не позволяет использовать при их описании строго детерминированные модели, требует перехода к стохастическим моделям. Особенно явно стохастические свойства поведения проявляются при переходе от исследования интегрального развития к изучению динамики выделенной подсистемы.

Математический аппарат, который предоставляет возможность перехода к моделированию случайных реализаций, формирует теория стохастических дифференциальных уравнений. Исследования в области теории стохастических дифференциальных уравнений показали, что существует возможность организации, самоорганизации открытых динамических систем, позволяющих с вероятностью 1 (достоверно) сохранить конкретные функциональные связи, жизненно важные показатели на любой траектории эволюции ОДС (Дубко, 1978; 1989). Эти уравнения могут быть взяты в качестве основы для поиска принципов функционирования, организации реальных, состоящих и из небольшого числа элементов, систем.

Плодотворным методом описания таких систем как целого становится использование макропараметров, коллективных переменных, отображающих изменения всей совокупности систем. Коллективные переменные характеризуют согласованное, когерентное поведение подсистем. В физике эти переменные получили специальные названия в зависимости от природы систем, при моделировании которых они используются (например, фононы – коллективное движение атомов и молекул).

Согласуется с представлением об эффективности использования макропеременных интегральных показателей системы с большим числом взаимодействующих элементов с целью повышения ее надежности на основе сильной обратной связи в режиме реального времени – принцип глобального управления.

С точки зрения задач организации жизнедеятельности человека, общества влияние геолого-морфотектонических и геоморфологических структур можно рассматривать как влияние коллективных переменных. Это связано с тем, что они охватывают огромные пространственные территории, изменения в геологической среде происходят на значительных исторических промежутках по отношению к периодам жизненного цикла цивилизаций и слагающих биосферу элементов. Общая эволюция живых и социальных систем происходит и происходила на фоне этих глобальных изменений геологических структур, бесспорно, оказавших влияние на структуру, динамику и эволюцию развития биосферы и социума. Закономерности этих изменений должны учитываться и быть отправными при формировании целей, которые ставят перед собой человек и общество, при желании понять, осуществима ли эта цель в этих

условиях и где грань, выход за которую не может произойти иначе, как катастрофически. Эти изменения должны учитываться при изучении и моделировании условий равновесия в биогеоценозах, принципов перехода из одного равновесного состояния в иное при изменении условий, что в период основательного вмешательства человека в биосферу становится жизненно важным.

При переходе к изучению и моделированию конкретных реальных, имеющих более локальную область сосредоточения систем подобные глобальные закономерности выступают как данные – системные законы, мгновенно определяющие коррелятивность в свойствах и динамике пространственно разнесенных систем, в которых процессы протекают более быстро, чем глобальные. Это позволяет рассматривать их как управляющие переменные.

На этапе моделирования динамики подсистем важным является использование обобщенного принципа Ланжевена. Основное утверждение последнего заключается в том, что динамику выделенной подсистемы можно представить как следствие суммы реакций на детерминированные и случайные воздействия, зависящих от макропеременных и вектора текущего состояния выделенной системы. Использование принципа Ланжевена оказалось плодотворным при построении моделей и объяснении свойств ОДС с привлечением достижений теории стохастических дифференциальных уравнений (Дубко, 1978; Скороход, 1977).

Цель работы – демонстрация появления макропеременной у многоэлементной системы на примере систем с билинейным взаимодействием при наличии возмущений (пуассоновских и винеровских).

Изложение основного материала. Пример построения уравнения для стохастической коллективной переменной. Модели с билинейным взаимодействием между подсистемами широко используются для описания систем различной природы. Примеры решений для этих моделей позволяют продемонстрировать, как взаимовлияние компонент приводит к моделям иерархически организованных систем, появлению *когерентной стохастической коллективной, управляющей переменной*.

1. Рассмотрим модель многоэлементной системы при присутствии возмущений:

$$dx_l(t) = (\alpha_l(t)x_l(t) + \sum_{j=1}^n \beta_j^l(t)x_j(t)x_l(t))dt + \sigma_l(t)x_l(t)dw_l(t) + x_l(t) \int g_l(t, \gamma) \mu_l(dt, d\gamma); \quad x_l(t)|_{t=0} = x_l(0), l = \overline{1, n}.$$

где $w_l(t)$, $\mu_l(\Delta t, \Delta \gamma)$, соответственно – не обязательно независимые винеровские и стандартные пуассоновские процессы и не обязательно независимые для разных l ; относительно $\beta_j^l(t), \alpha_l(t), \sigma_l(t), g_l(t, \gamma)$, будем предполагать, что если они и терпят разрыв, то первого рода, а на участках непрерывности соответствуют условию Липшица; $t \in [0, T]$;

$$M[\mu_l(dt, d\gamma)] = dt \Pi_l(d\gamma), \int_0^T dt \int |g_l(t, \gamma)|^2 \Pi_l(d\gamma) < \infty, \forall l = \overline{1, n},$$

и \int , как принято, компактная запись $\int_{(y)}$ – интеграла по пространству параметров.

Приведенные требования являются достаточными для существования и единственности решения системы (1) [1].

Введем новую переменную:

$$z_l(t) = x_l(t) \exp \left\{ - \int_0^t \sum_{j=1}^n \beta_j^l(\tau) x_j(\tau) d\tau \right\}, \quad z_l(0) = x_l(0). \quad (2)$$

При замене (2) уравнение (1) переходит $\forall l = \overline{1, n}$ в следующее:

$$dz_l(t) = \alpha_l(t) z_l(t) dt + \sigma_l(t) z_l(t) dw_l(t) + z_l(t) \int g_l(t, \gamma) \mu_l(dt, d\gamma), \quad z_l(0) = x_l(0). \quad (3)$$

Решение $z_l(t)$ уравнения (3) имеет вид:

$$z_l(t) = x_l(0) \exp \left[\int_0^t (\alpha_l(\tau) - \sigma_l^2(\tau) 2^{-1}) d\tau + \int_0^t \sigma_l(\tau) dw_l(\tau) \right] \times \exp \left[\int_0^t \int \ln |1 + g_l(\tau, \gamma)| \mu_l(d\tau, d\gamma) \right].$$

В этом можно убедиться, продифференцировав (4) по t , опираясь на обобщенную формулу Ито [1].

Подставив в (4) представление (2), приходим к равенству:

$$\begin{aligned} x_l(t) \exp \left\{ - \int_0^t \sum_{j=1}^n \beta_j^l(\tau) x_j(\tau) d\tau \right\} &= \\ = \exp \left[\int_0^t (\alpha_l(\tau) - \sigma_l^2(\tau) 2^{-1}) d\tau + \int_0^t \sigma_l(\tau) dw_l(\tau) \right] &\times \\ \times \exp \left[\int_0^t \int \ln |1 + g_l(\tau, \gamma)| \mu_l(d\tau, d\gamma) \right] &x_l(0). \end{aligned}$$

При условии

$$\beta_j^l(t) = \beta_j(t), \quad \forall l = \overline{1, n} \quad (6)$$

опираясь на (5), появляется возможность построить отдельное уравнение для коллективной переменной:

$$y(t) = \sum_{l=1}^n x_l(t) \beta_l(t) \quad (7)$$

Действительно, умножив (5) справа и слева $\beta_l(t)$ на и суммируя по l , получим:

$$\begin{aligned} \left(\sum_{l=1}^n x_l(t) \beta_l(t) \right) \exp \left\{ - \int_0^t \left(\sum_{j=1}^n \beta_j(\tau) x_j(\tau) \right) d\tau \right\} &= \\ = \sum_{l=1}^n (\beta_l(t) x_l(0)) \exp \left\{ \int_0^t (\alpha_l(\tau) - \frac{\sigma_l^2(\tau)}{2}) d\tau + \int_0^t \sigma_l(\tau) dw_l(\tau) \right\} &\times \\ \times \exp \left[\int_0^t \int \ln |1 + g_l(\tau, \gamma)| \mu_l(d\tau, d\gamma) \right] &x_l(0). \end{aligned}$$

Это соотношение с учетом обозначений (7) можно подать в виде:

$$\frac{d}{dt} \exp \left\{ - \int_0^t y(\tau) d\tau \right\} = -Q(t) \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} Q(t) = \sum_{l=1}^n (\beta_l(t) x_l(0)) \exp \left\{ \int_0^t (\alpha_l(\tau) - \frac{\sigma_l^2(\tau)}{2}) d\tau + \int_0^t \sigma_l(\tau) dw_l(\tau) \right\} &\times \\ \times \exp \left[\int_0^t \int \ln |1 + g_l(\tau, \gamma)| \mu_l(d\tau, d\gamma) \right] &x_l(0). \end{aligned}$$

Проинтегрируем (8) по t :

$$\exp \left\{ - \int_0^t y(\tau) d\tau \right\} - 1 = - \int_0^t Q(\tau) d\tau \quad (9)$$

При условии, что

$$(\beta_{l,n}(t) x_l(0)) \leq 0, \quad \forall l, \quad (10)$$

можем от уравнения (9) перейти к представлению:

$$\int_0^t y(\tau) d\tau = - \ln \left\{ 1 - \int_0^t Q(\tau) d\tau \right\}$$

После дифференцирования этого равенства по t находим:

$$y(t) = \frac{Q(t)}{1 - \int_0^t Q(\tau) d\tau}, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (11)$$

Учитывая (10):

$$y(0) = \sum_{l=1}^n (\beta_l(t) x_l(0)) < 0$$

Случайная коллективная переменная $y(t)$ (7), (11) играет роль *когерентного случайного возмущения*, в поле которого эволюционируют процессы $x_l(t)$, в силу условий (6) и (10) являющиеся решением уравнений (1) вида:

$$\begin{cases} dx_l(t) = (\alpha_l(t) + y(t)) x_l(t) dt + \sigma_l(t) x_l(t) dw_l(t) + \\ + x_l(t) \int g_l(t, \gamma) \mu_l(dt, d\gamma); \quad x_l(t)|_{t=0} = x_l(0), l = \overline{1, n}, \end{cases}$$

и их можно рассматривать как «независимые» $\forall l = \overline{1, n}$.

Отметим, что относительно $\alpha_l(t), \beta_l(t), \sigma_l(t), l = \overline{1, n}$, не делалось предположений об их детерминированности. Не является ограничением и требование зависимости только от t .

2. Рассмотрим модели, которые сводятся к стохастическим уравнениям билинейного типа (1):

$$dx_i(t) = \alpha_i(t)x_i(t)dt + \gamma x_i(t) \sum_{j=1}^n \beta_j^i(t)x_j^m(t)dt + \\ + x_i(t)[\sigma(t)dw_i(t) + \int g_i(t, \gamma)\mu_i(dt, d\gamma)].$$

Такие системы появляются, например, в теории нелинейных колебаний. От этого уравнения, воспользовавшись обобщенной формулой Ито [1] для переменной $z_i(t) = x_i^m(t)$, приходим к уравнению вида (1):

$$dz_i(t) = \left(\alpha_i(t)m + \frac{\sigma^2(m-1)m}{2} \right) z_i(t)dt + \gamma m z_i(t) \sum_{j=1}^n \beta_j^i(t) z_j(t)dt + \\ + \sigma m z_i(t) dw_i(t) + z_i(t) \int [(1 + g_i(t, \gamma))^m - 1] \mu_i(dt, d\gamma).$$

Выводы. Сохранение связи с реальностью – условие рационального восприятия и преобразования мира. По нашему мнению, при описании (моделировании) явлений в сложноорганизованных системах это достигается за счет того, что исходной ступенью в познании является не попытка объяснения нового на основе известных ранее законов, а определение, путем обработки конкретных эмпирических данных «скрытого»

порядка, закономерностей, то есть устойчивых пространственных и временных зависимостей. Рациональность такого подхода заключается в том, что он позволяет, не вдаваясь в детали, ограничиться первоначально феноменологическим описанием установившихся глобальных, укрупненных, осредненных отношений между наблюдаемыми величинами, не касаясь фундаментальных вопросов их возникновения, и использовать найденные закономерности в практической деятельности. Построенная на основе выявленных закономерностей модель изучаемого явления, отображая наиболее существенное для него в силу согласованности всех уровней организации материального мира, содержит и «скрытое» знание о них, то есть возможность выйти за рамки первоначального применения этих законов и охватить более широкий круг реальности. Этим объясняется эффективность методов аналогий и ассоциаций, вероятный успех в познании окружающего мира на основе модификаций известных моделей. Расширение такое не всегда однозначно. В дальнейшем селекция моделей и подходов происходит при сравнении их с реальными наблюдениями.

В статье обобщены и расширены некоторые результаты работ автора, связанные с моделированием многоэлементных систем, систем с сильной взаимосвязью. Наиболее близко содержание статьи согласуется с выводами миографии [2]. В [2] приведены и дополнительные ссылки.

Список литературы:

1. Гихман И.И., Скороход А.В. Стохастические дифференциальные уравнения. – Киев: Наук. думка, 1968. – 354 с.
2. Дубко В.А. В поисках скрытого порядка (Методологические проблемы изучения регионов) / В.А. Дубко, Ф.Н. Рянский, Э.М. Сороко, В.Н. Шолпо, В.В. Юшманов – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 118 с. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://openevolvingystems.narod.ru/1995_DoobkoRjansky/1995_DoobkoRjansky5.djvu.

МОДЕЛІ УЗГОДЖЕНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ ТА ГЛОБАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто особливості опису та моделювання локальних і глобальних показників багатоелементних систем.

Ключові слова: системні змінні, колективні змінні, надійність.

MODELS OF HARMONIZATION OF LOCAL AND GLOBAL CHARACTERISTICS FOR MULTI-ELEMENT EVOLVING SYSTEMS

Features description and modeling of local and global indicators of the multiple systems.

Key words: system variables, dynamic variables, reliability.

УДК 519.8

Єремєєв І.С.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Дичко А.О.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО ЯК СКЛАДНА СИСТЕМА

Пропонується модель функціонування житлово-комунального господарства як складної системи, що здатна до адаптації. Наведено евристики, які описують поведінку системи і необхідні для підвищення її ефективності.

Ключові слова: складна система, адаптація, модель, евристики.

Постановка проблеми. Житлово-комунальне господарство України (ЖКГ) ще перед здобуттям нею незалежності увійшло у смугу суцільної кризи, яка була зумовлена як фізичним зносом технічних засобів, так і соціальними та економічними проблемами. Намагання реформувати галузь поки що не дають очікуваних наслідків, головним чином тому, що програми реформування не базуються на системному підході, який би інтегрально враховував технічні, економічні, соціальні проблеми та проблеми екології, що щільно пов'язані між собою і впливають одна на одну. ЖКГ – складна система, яка перебуває під впливом як внутрішніх (соціальних, політичних, економічних і екологічних), так і зовнішніх (соціально-політичні конфлікти, глобальні екологічні проблеми, зовнішній борг, структурна обмеженість) чинників. Тому ЖКГ важливо розглядати в контексті складних систем, що можуть розвиватися.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні методи аналізу складних систем широко використовуються, але головним чином для технічних, екологічних та економічних систем [1; 2]. Причому йдеться про системи, які описуються або на підставі детермінованих функцій, або з використанням методів математичної статистики. ЖКГ як складна система містить компоненти технічних, соціальних, екологічних та економічних систем, які, як правило, важко формалізувати і які у більшості своїй описуються на рівні лінгвістичних термінів (понять).

Формулювання цілей статті. Метою статті є використання ідеї моделювання складної системи у вигляді «вісімки» [3] для відображення поведінки системи ЖКГ як замкненої циклічно працюючої системи, здатної до адаптації.

Основна частина. Під час аналізу такої складної системи, як ЖКГ треба притримуватися чотирьох головних принципів:

- спрощення (до розумних меж) процесів та структур для їх адекватного розуміння;
- розгляд їх у динаміці та перспективі;
- урахування можливості неоднозначності та непередбачуваності;
- розуміння системи як ієрархічної структури, що здатна до адаптації і розвитку.

Окремі напівавтономні рівні (підсистеми) такої системи формуються за рахунок взаємодій між наборами змінних, які існують у середовищі загальних для кожного рівня швидкостей протікання процесів та просторових меж. Так, функціонування ЖКГ як системи загалом є досить повільним процесом, який відбувається в межах країни протягом життя багатьох поколінь. Водночас функціонування такої, наприклад, підсистеми ЖКГ, як теплопостачання лише за останні 70–80 років змінювалося у межах населених пунктів принципово декілька разів (від індивідуального опалювання пічками до централізованого опалювання від ТЕЦ, від ТЕЦ – до районних котелень, далі – до домових котелень і до індивідуальних газових або електрообігрівачів, причому останнім часом вже успішно розвиваються такі напрями, як вживання теплових насосів, сонячних батарей тощо). Швидкий (відносно) розвиток окремих підсистем ЖКГ дає змогу зробити весь «життєвий» цикл ЖКГ як цілісної системи більш плавним, сталим, тривким. Але для цього необхідна модель розвитку, яка би могла дати пояснення щодо необхідності проведення (передбачення) тих чи інших заходів з метою покращення функціонування системи загалом. Для формування адаптивного циклу розви-

тку (моделі системи) необхідно враховувати такі три головні характеристики, як:

– властивий потенціал системи, який дає змогу виконувати необхідні зміни у разі їх потреби (**ресурс**);

– внутрішня керованість (**зв'язність**) системи, тобто ступінь зв'язності між внутрішніми керованими змінними і процесами (міра, що віддзеркалює ступінь гнучкості або жорсткості такого керування, чутливість або нечутливість до збурень);

– здатність до адаптації, **пружність** системи (міра її вразливості щодо неочікуваних або непрогнозованих стресів).

Зазначені властивості є загальними незалежно від масштабу: від ЖКГ загалом до його окремих підсистем і навіть окремих компонентів підсистем. **Ресурс** встановлює межі можливого, визначає кількість альтернативних шляхів розвитку у майбутньому. Його можна представляти як певним капіталом, так і ефективністю використання цього капіталу. **Зв'язність** або керованість визначає ступінь, до якого система здатна керувати власним функціонуванням, після чого вона може стати жертвою зовнішніх впливів. Її можна виражати як через гнучкість використання ресурсів з метою запобігання зниженню ефективності системи, так і наявністю зворотних зв'язків між окремими ланками системи, а також наявністю альтернативних варіантів функціонування. **Пружність**

системи, що забезпечується здатністю до адаптації, визначає, як система реагує на неочікувані збурення і нештатні ситуації, які можуть вивести систему з ладу. Пружність певною мірою характеризує нечутливість до короткотермінових суттєвих змін параметрів системи, її інваріантність і здатність до коригування стану з метою «фільтрування» збурень.

Стилізоване відображення адаптивного циклу складної системи в координатах «ресурс – зв'язність» наведено на рис. 1.

Траєкторія циклу змінюється між довгими періодами повільного накопичення та перетворення ресурсів (**розвиток**) і більш короткими періодами створення можливостей для інновацій (**реорганізація, адаптація**). Перехід від розвитку до реорганізації ініціюється зовнішніми або внутрішніми кризами, катастрофами і супроводжується суттєвими витратами ресурсу і порушенням зв'язності (зменшенням або зміною характеру зв'язків) під час пошуку шляхів подолання проблем, що виникли. Шлях до реорганізації іноді супроводжується певним (але невеликим) накопиченням ресурсу завдяки локальним оптимізаційним процесам. Він не може бути довгим, інакше система не зможе функціонувати. Після завершення етапу реорганізації (якщо вона виявилася прийнятною та ефективною) починається етап адаптації, який вимагає суттєвих витрат ресурсу для оновлення усіх ланок

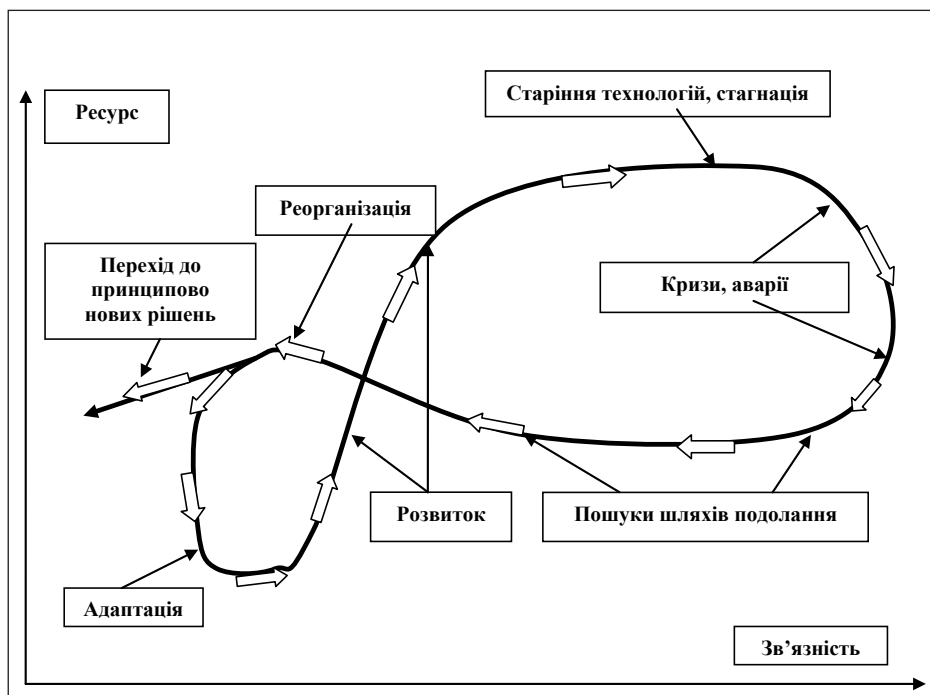


Рис. 1. «Вісімка» циклів функціонування будь-яких складних систем

системи і пристосування до нових умов функціонування. Далі система починає нормально функціонувати, накопичуючи ресурс та збільшуючи зв'язність. У разі, якщо реорганізація системи неприйнятна або неефективна, необхідно здійснити перехід до принципово нової (як із погляду структури, так і з погляду засобів, цілей та методів функціонування і характеру зв'язків) системи. Цей перехід може вимагати суттєвих соціальних та економічних змін (якщо це можливо) та надмірних витрат ресурсу. Саме з цією проблемою і стикнулося в наш час ЖКГ України на етапі реорганізації: стара модель вже не задовольняє вимог часу, спроби її пристосування до нових вимог не дають плідних наслідків, а нова модель поки що бачиться не дуже чітко, оскільки наївні сподівання на приватний капітал, який забезпечить нормальне функціонування системи, поки що не виправдовуються, тому що, з одного боку, вітчизняний інвестор буде інвестувати гроші лише у надприбуткові підприємства, а олігарх, який захопить природну монополію, буде просто «накручувати» тарифи, оскільки «кишеньковий» антимонопольний комітет буде відважно боротися лише з малим та середнім бізнесом. Інакше кажучи, нагальна

потреба в докорінній зміні старої моделі ЖКГ на нову давно «перезріла», а дієвих засобів реалізації нової моделі як не було, так і немає. І все гальмується не просто браком коштів, а нездатністю (або небажанням!) правильно їх використати: якщо би ЖКГ отримало сьогодні \$100 млрд, воно би просто «закопало» ці гроші або витратило «рівномірно» на всі проблеми чи «проїло». Тому варто продумати певні пріоритети витрат, виходячи з проблем, що вже існують. Такі проблеми у всіх на слуху: енергозалежність та екологія, які щільно пов'язані одна з одною. Дійсно, ми витрачаємо силу-силенну природного газу, який змушені купувати за високими цінами. І цей газ спалюємо (або іншим чином використовуємо) з метою отримання енергії або певної продукції. Ефективність використання цього газу в декілька разів нижча, ніж у розвинених країнах світу, а продукти його згорання інтенсивно засмічують атмосферу. З іншого боку, темпи збільшення твердих побутових відходів (ТПВ) вражаючі: сьогодні площі, які зайняті в країні під «полігони» для захоронення ТПВ, дорівнюють сумарній площі державних заповідників, і потреби у подальшому поширенні «полігонів» щорічно зростають. Тому вирішення

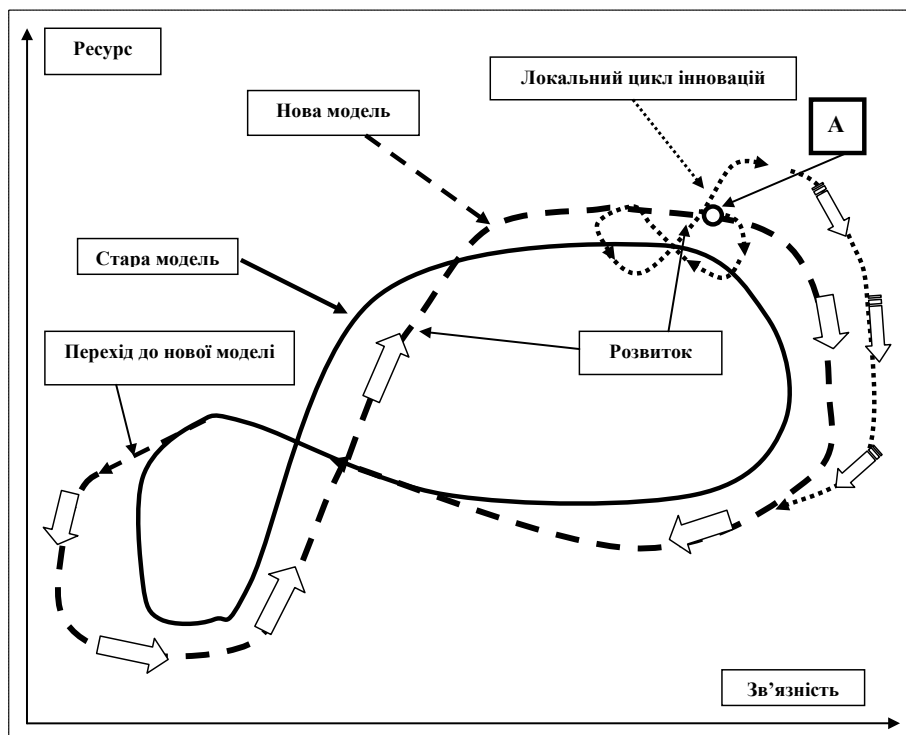


Рис. 2. Функціонування складної системи у разі, коли стара модель вже не відповідає сучасним вимогам і треба її змінити

- Траєкторія руху згідно зі старою моделлю.
- - - Траєкторія руху згідно з новою моделлю.
- Траєкторія локального циклу.

А – точка на траєкторії, в якій ПР має від'ємний знак унаслідок локальних кризових явищ.

проблеми ТПВ (які на 60–80% складаються з органічних компонентів) шляхом їхнього перетворення на енергію в сміттєспалювальних заводах (ССЗ) або на підприємствах газифікації ТПВ (ПГТПВ) дасть можливість суттєво обмежити імпорт природного газу або й зовсім відмовитися від нього і водночас вирішить проблему «полігонів», на яких можна було б захоронювати лише від 20 до 40% тієї частки ТПВ, яка не може бути використана (а за роздільного збирання ТПВ або після попереднього їх сортування така частка буде набагато меншою за рахунок рециклінгу). Отже, фінансування розбудови підприємств для поводження з ТПВ можна вважати першочерговим завданням. Але чи варто розпочинати з розбудови гігантських заводів? Вони дуже дорого коштують, а час будівництва та вводу в експлуатацію (і термін самоокупності) досить значний. Простіше звернути увагу на підприємства для невеликих та середніх міст – саме вони генерують лівову частку ТПВ і створюють проблеми несанкціонованих звалищ. Відпрацьовані стандартні модулі таких підприємств будуть коштувати недорого, час вироблення та монтажу – відносно невеликий, а самоокупність може не перевищувати одного року. Одночасно треба терміново стимулювати енергозбереження (у тому числі і шляхом переходу на нові технології та використання альтернативних джерел енергії) і шукати нові ефективні форми відносин між постачальниками послуг ЖКГ та громадами (це теж відноситься до терміну зв'язності). А якщо «процес піде» і після реорганізації та адаптації до нових умов почнеться етап розвитку, то треба відслідковувати рух на цьому етапі таким чином (рис. 2).

Поки ресурс зростає одночасно зі зростанням зв'язності, можна вважати, що нова модель функціонує адекватно. Після досягнення «насичення», тобто після того, як процес піде майже без прирощення ресурсу, система може ще довго виконувати свої функції як консервативна система зі зворотнім зв'язком, контролюючи лише

ресурс, точніше, знак його прирощення. Якщо у якійсь точці траєкторії (наприклад А) виявиться, що прирощення ресурсу є від'ємним, тобто ефективність системи знижується, це стає сигналом про необхідність проведення локального циклу інновацій саме у тій підсистемі, де ефективність є найнижчою (або там, де необхідний для цієї інновації ресурс – мінімальний). Цей цикл викликає потребу у споживанні ресурсу для реорганізації та адаптації, після чого система може вийти на більш високий рівень із погляду як ресурсу, так і зв'язності. Такі локальні цикли можуть виникати періодично, і витрати на їх реалізацію можна розглядати як витрати на амортизацію. Їх проведення сприятиме більш ефективному і довгому нормальному функціонуванню системи. Можна сформулювати такі евристики для забезпечення адаптаційних процесів у системі:

ЯКЩО ($(\text{ПР} > 0)$ ТА $(\text{ПЗ} > 0)$), **ТО** (РЗВ);
ЯКЩО ($(\text{ПР} \sim 0)$ ТА $(\text{ПЗ} > 0)$), **ТО** (КС);
ЯКЩО ($(\text{ПР} < 0)$ ТА $(\text{ПЗ} < 0)$), **ТО** (КР);
ЯКЩО ($(\text{ПР} > 0)$ ТА $(\text{ПЗ} < 0)$), **ТО** (РОР);
ЯКЩО ($(\text{ПР} < 0)$ ТА $(\text{ПЗ} \sim 0)$), **ТО** (АД);
ЯКЩО ($(\text{ПР} < 0)$ ТА $(\text{ПЗ} > 0)$ ТА $(\text{ЦРЗ} \leq \text{ЦРЗ}_{\text{прим}})$),
ТО (ЛШКР),

де **НМ** – нова модель; **РЗВ** – розвиток; **ПНМ** – перехід до нової моделі; **РОР** – реорганізація; **КР** – криза; **АД** – адаптація; **ПР** – прирощення ресурсу; **ПЗ** – прирощення зв'язності, **КС** – консервація системи; **ЛШКР** – локальна штучна криза (реорганізація локальної підсистеми з метою її адаптації до нових умов чи вимог), **ЦРЗ** – ціна ризику за умов переходу до **ЛШКР**, **ЦРЗ_{прим}** – максимально прийнятна **ЦРЗ** за наявних умов.

Висновки. Наведена вище модель функціонування ЖКГ як складної системи не суперечить основним економічним, соціальним та фізичним законам і сприяє більш глибокому розумінню процесів, що виникають у надрах системи та дає змогу оперативно шукати і знаходити шляхи забезпечення максимальної ефективності системи в реальних умовах.

Список літератури:

1. Заец Р.В. Концепция экоустойчивого развития и проблемы системного обновления науки и инноватики. «Системный анализ и информационные технологии»: материалы Международной научно-технической конференции САИТ-2011. – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ», 2011, с. 91.
2. Вишневецький В.І. та ін. Детермінований хаос, глибина і точність прогнозу функціонування складних систем. Вісник НТУ МОНУ №9. – К.: НТУ, 2004, с. 43–47.
3. Holling C.S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. Ecosystems, 2001, #4, pp. 390–405.

ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО КАК СЛОЖНАЯ СИСТЕМА

Предлагается модель функционирования жилищно-коммунального хозяйства как сложной системы, способной к адаптации. Приведены эвристики, описывающие поведение системы и необходимые для повышения ее эффективности.

Ключевые слова: сложная система, адаптация, модель, эвристики.

MUNICIPAL ENGINEERING AS COMPLEX SYSTEM

The pattern of municipal engineering performance as an complex adaptive system is proposed. The heuristics, which describes effective behaviour the system are reduced.

Key words: complex system, adaptation, pattern, heuristics.

Єремєєв І.С.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ПОЛІГОНІВ

Розглянута проблема спостережуваності станів полігонів ТПВ. Запропонована структура системи моніторингу та алгоритм оперативного оцінювання стану полігону.

Ключові слова: інтелектуалізація, спостережуваність, алгоритм, оцінювання стану, моніторинг, структура, полігон.

Постановка проблеми. Сьогодні стан полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) створює низку клопотів для керівників міського господарства, органів самоврядування, служб надзвичайних ситуацій та екологічних установ усіх рівнів з одного боку і для населення, яке проживає у зоні впливу цих сховищ – з іншого. Неконтрольовані сховища загрожують як сталим отруєнням навколишнього середовища, так і пожежами. Тому створення систем оперативного моніторингу стану сховищ – нагальна проблема.

Аналіз останніх досліджень. У розвинених країнах світу на полігони надходять лише такі

матеріали, які вже не розкладаються и не можуть бути використані у процесах рециклінгу [1]. Тому проблема моніторингу зон, що підпадають під вплив полігонів, хоча й залишається, але приймає дещо інший характер. В країнах, що розвиваються, ця проблема частково вирішується шляхом використання спеціальних конструкцій полігонів, а також контролю за ґрунтовими водами, що протікають під тілом полігону [2]. Розробляються моделі біотрансформації вмісту полігонів [3]. Однак проблеми автоматизованого моніторингу стану полігонів, який би давав змогу оперативно відстежувати розвиток процесів у тілі полігону та

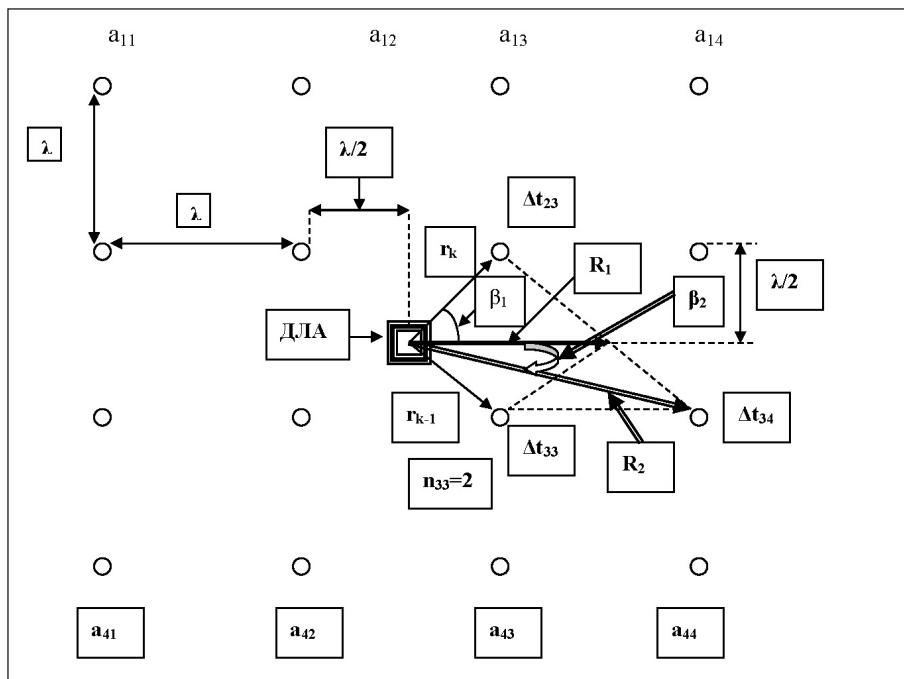


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оперативної
наближеної оцінки стану полігону

оцінювати їхні масштаби, на жаль, не розглядаються.

Постановка завдання. Пропонується підхід до розроблення автоматизованої системи контролю, яка б дала змогу забезпечити сталий нагляд за станом сховища (поточний моніторинг теплових потоків, забруднення ґрунтових вод, вмісту газу, що виділяється зі сховища, тощо), прогнозу-

вання динаміки розвитку станів (із використанням відповідних моделей та евристик), розроблення рекомендацій щодо подальшої експлуатації сховищ та заходів з екологічної та пожежної безпеки.

Основна частина. Проблема забезпечення спостережуваності станів сховищ та їх окремих ділянок (контроль розподілу токсичних компонентів у сховищах, спостереження і прогнозування мігра-

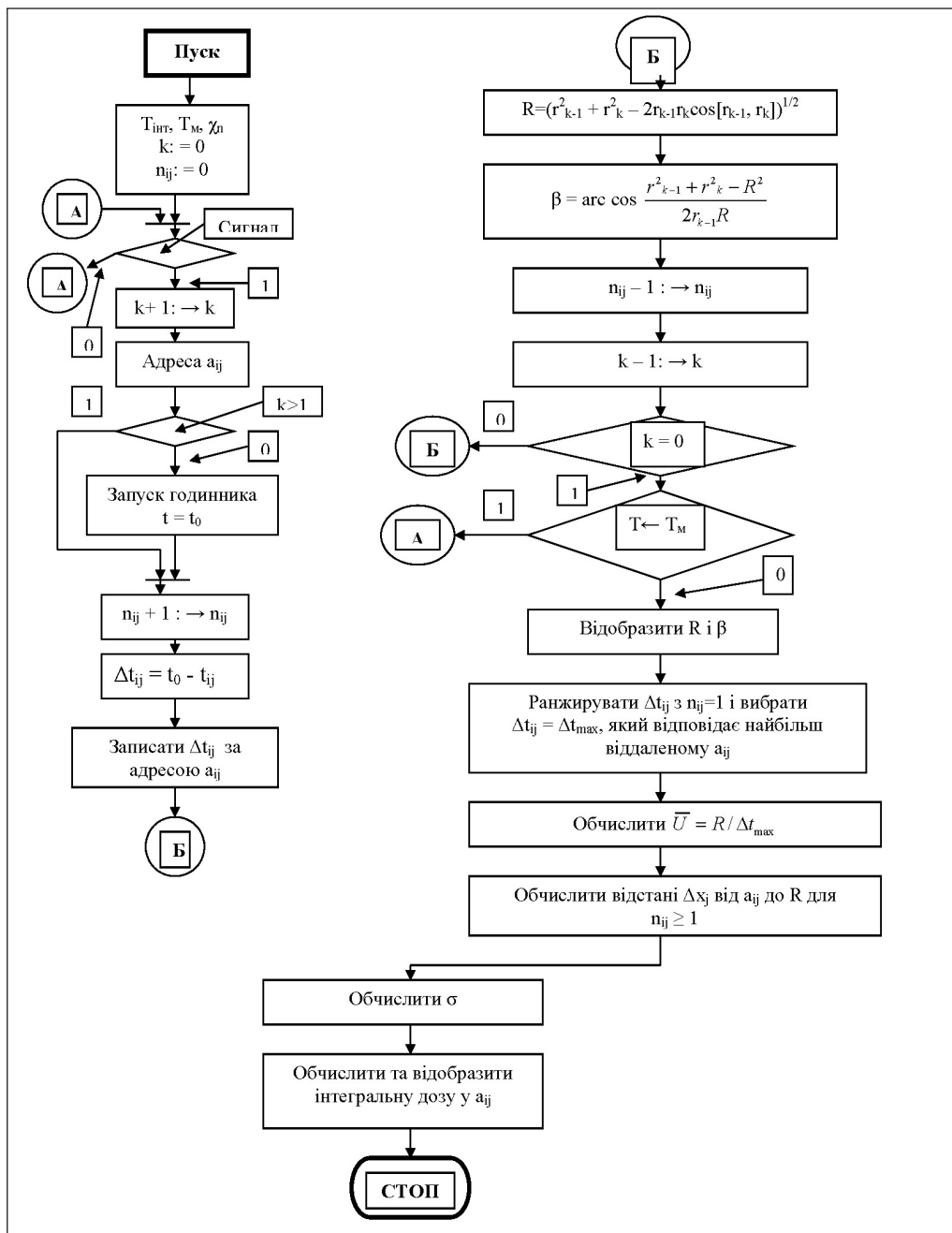


Рис. 2. Графік генерального напрямку руху теплового потоку R2

ДЛА – джерело локальної аномалії (наприклад, локальної пожежі); R_2 – вектор генерального напрямку руху теплового потоку; a_{ij} – детектори температури τ (або теплового потоку ΔQ); t_{ij} – момент перевищення фонових сигналів на першому з детекторів a_{ij} ; Δt_{ij} – різниця між часом перевищення фонових сигналів на першому з детекторів і часом перевищення фонових сигналів на другому з детекторів; λ – «крок» розташування детекторів у матриці.

цій токсичних компонентів, контроль теплових потоків та виявлення місць із критичними температурами тощо) сьогодні є надзвичайно актуальною, причому завдання ідентифікації процесів та станів у реальному часі та у перспективі є найбільш складними, їх можливо вирішити лише за широкого використання методів та засобів штучного інтелекту.

Спектр забруднень реального сховища, їх динаміка, метаболізми, міграція у навколишнє середовище, теплові потоки всередині сховища, виявлення меж розповсюдження токсичних відходів, рекомендації щодо можливої мінімізації ступеня концентрації та ареалів розповсюдження забруднень і мінімізації теплових потоків та їх каналізації – ось перелік завдань, які спроможна вирішити інтелектуалізована система моніторингу полігонів.

Для отримання усіх необхідних даних важливо обрати (розробити) відповідну інформаційну мережу, яка б могла надати максимум релевантної інформації. Виходячи з особливостей полігону як технологічного об'єкта з розосередженими параметрами, варто за основу інформаційної мережі прийняти матричну структуру, яка передбачає рівномірне розташування детекторів інформації (датчиків температури, вологості, теплового потоку, вимірювальних приладів вмісту тих чи інших компонентів у ґрунтових водах, фільтраті та газах).

Використання матричної структури розташування детекторів забезпечує прості та універсальні методи обчислень і, крім того, найбільш ефективний контроль за усім ареалом. Блок-схема програми, яка здатна реалізувати окреслені вище завдання, наведена на рис. 1, а графіки, які пояснюють реалізацію окремих етапів цього завдання, – на рис. 2.

Головна мета програми – виявлення того з детекторів, сигнал якого відповідає максимальному значенню параметра, що контролюється (наприклад, температури на певній глибині від поверхні). Якщо цей сигнал змінюється у межах середньостатистичних значень, то система просто відстежує його і у певні проміжки часу фіксує у пам'яті (базі даних). Якщо ж цей (максимальний) сигнал виходить за межі 2σ , тобто перевищує удвічі значення стандартного відхилення, то це є ознакою того, що має місце локальна аномалія. При цьому фіксується час t_{ij} виявлення цієї аномалії у межах контролю a_{ij} -детектора вимірювальної матриці. Якщо через якийсь час фіксується збільшення сигналу (за

межі 2σ) на виході іншого a_{lm} -детектора вимірювальної матриці, то цей час порівнюється з t_{ij} і визначається Δt_{ij} , який дає змогу визначити швидкість розповсюдження аномалії та вектор руху. Подальше виявлення ще одного детектора з аномальними даними дає змогу визначити головні параметри вектору руху аномалії (β та R), локалізувати район аномалії та обчислити інтегральний стан полігону.

Для оцінки необхідної для надійного контролю довкілля кількості детекторів можливий підхід, який базується на аналізі відношення імовірності реєстрації аномалії $P(n)$ до вартості системи контролю $N(n)$. Це відношення $F(n)$ має максимум, який відповідає оптимальній кількості детекторів. Зазвичай вартість центру обробки даних $N_{\text{ц}}$ мало залежить від кількості детекторів, і її можна прийняти за константу. Вартість одного детектора $N_{\text{д}}$ також не залежить від кількості детекторів у системі. При цьому

$$N(n) = N_{\text{ц}} + n N_{\text{д}}$$

і

$$F(n) = P(n)/N(n) = N_{\text{ц}}^{-1}P(n)(1 + N_{\text{д}} N_{\text{ц}}^{-1}n)^{-1}$$

У разі прирівнювання до нуля похідної $F(n)$ по n можна отримати вираз для оптимальної кількості детекторів n_0 :

$$N_{\text{д}} N_{\text{ц}}^{-1} = [(1 - p) n_0 - 1][-(1 - p)n_0 \ln(1 - p)]^{-1} - n_0,$$

де $p = S_{\text{в}}/S_0$ – імовірність виявлення аномалії одним із детекторів, коли забруднення розповсюдилося на площі $S_{\text{в}}$, тоді як область надійного контролю місцевості за допомогою низки детекторів, яка визначається чутливістю детекторів, що використовуються, охоплює площу S_0 , а $P(n) = 1 - (1 - p)^n$.

Зазвичай задають значення $P(n)$, внаслідок чого орієнтовно визначають величину n , а вже потім знаходять відношення $N_{\text{д}}/N_{\text{ц}}$ за якого $n = n_0$.

Якщо аномальна ситуація на полігоні досить тривала й осереддя аномалії покриває усю область S_0 , виникає завдання оцінки представленості даних про забруднення області S_0 за даними від n детекторів, яка визначається у підсумку як відношення площі S , яка охоплена засобами контролю, до площі S_0 . Вираз для R , яке заміщає $P(n)$, можна представити у вигляді

$$R = 1 - \exp(-S_1 n S_0^{-1}),$$

де S_1 – площа, яку контролює один детектор.

Використовуючи значення R замість $P(n)$, отримаємо ще один вираз для визначення оптимальної кількості детекторів:

$$N_{\text{ц}}/N_n = p^{-1} k [\exp(p k n_0) - 1] - n_0,$$

де $p_k = S_k/S_0$ – відносний розмір області, на яку можна розповсюдити дані від одного детектора.

Відповідно до наведених вище міркувань за припущенням, що радіус контролю одного детектора, який дорівнює половині радіуса кореляції (тобто відстані, на якій нормована функція кореляції характеристик ситуації від двох суміжних детекторів зменшується в e разів), становить 3 км, а $R = 0,7-0,8$, для надійного контролю у радіусі 25 км необхідно близько 80 детекторів, тобто матриця порядку 9×9 , а враховуючи реальні роз-

міри полігонів, – матриця 5×5 , що є цілком прийнятним.

Висновки. Використання запропонованого підходу до оцінювання стану полігонів ТПВ забезпечить своєчасне виявлення будь-яких аномальних процесів у тілі полігону, їхні масштаби та динаміку розвитку і сприятиме оперативному втручання з метою недопущення або мінімізації негативних наслідків.

Список літератури:

1. Guidelines for Environmental Monitoring at Municipal Solid Waste Landfills, B.C. Ministry of Environment, 1996, 58 p.
2. Mor S, Ravindra K, Dahiya RP, Chandra A. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. Environ Monit Assess. 2006 Jul; 118(1–3): 435–456.
3. Garcia de Cortázar AL, Lantarón JH, Fernández OM, Monzón IT, Lamia MF. Modelling for environmental assessment of municipal solid waste landfills (part II: biodegradation). Waste Manag Res. 2002 Dec; 20(6): 514–528.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛИГОНОВ

Рассмотрена проблема наблюдаемости состояний полигонов ТПВ. Предложена структура системы мониторинга и алгоритм оперативного оценивания состояния полигона.

Ключевые слова: интеллектуализация, наблюдаемость, алгоритм, оценка состояния, мониторинг, структура, полигон.

THE LANDFILL CONDITION MONITORING PROCEDURES' INTELLECTUALIZATION

The observability problem of landfills condition monitoring intellectualization is considered. The system monitoring structure and algorithm for dynamic landfill condition estimation are proposed.

Key words: intellectualization, observability, algorithm, condition estimation, monitoring, structure, landfill.

Кисельов В.Б.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Туранська О.С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ПАКЕТА ДАНИХ МІЖ ДВОМА ВУЗЛАМИ В СИСТЕМІ CASTALIA

У статті розглянуто імітаційну модель безпроводної сенсорної мережі, побудовану в системі моделювання Castalia. На основі цієї моделі досліджено надійність передачі пакетів даних між двома вузлами та вплив перешкод на надійність комунікаційного середовища між двома вузлами в системі Castalia.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, модель, надійність.

Постановка проблеми. Сьогодні через не дешево обладнання та складність налаштування сенсорних мереж широке застосування отримали різні системи імітаційного моделювання. У наш час безпроводні сенсорні мережі (БСМ) є актуальною темою досліджень. Багато аспектів роботи і побудови таких мереж не стандартизовані. Створення стенду для тестування БСМ є дуже дорогим, а запуск реальних експериментів на стенді є ще і складним та займає багато часу. Крім того, стабільність значною мірою непередбачувана, оскільки багато факторів впливають на результати експерименту. Важко ізолювати один аспект дослідження від інших. Тому в галузі БСМ моделювання має велике значення для розвитку цієї сфери.

Аналіз досліджень і публікацій. Імітаційне моделювання має важливе значення для вивчення БСМ, будучи поширеним способом для тестування нових додатків і протоколів у цій галузі. Це привело до бурхливого розвитку систем моделювання БСМ останніми роками. Однак отримання точних висновків із результатів моделювання не є тривіальним завданням. Є два ключових аспекти в моделюванні БСМ: правильність імітаційної моделі і придатність конкретних інструментів для реалізації цієї моделі. Фундаментальною проблемою є вибір між точністю моделі та продуктивністю із масштабованістю.

Для моделювання було використано систему Castalia. Це система моделювання для безпроводних сенсорних мереж і мереж малопотужних вбудованих пристроїв. Вона заснована на платформі OMNeT ++ [3] і використовується дослідниками і

розробниками, які хочуть випробувати свої алгоритми та/або протоколи в реалістичному середовищі безпроводного каналу з розширеною радіо-моделлю з реалістичною поведінкою вузла.

Постановка завдання. За допомогою системи Castalia необхідно дослідити надійність передачі пакета даних між двома вузлами, вплив перешкод на надійність комунікаційного середовища між двома вузлами та вплив потужності радіомодуля на надійність комунікаційного середовища між двома вузлами. Всі дослідження проводяться в системі Castalia.

Виклад основного матеріалу.

Дослідження надійності передачі пакета даних між двома вузлами в системі Castalia. Для простоти розгляду надійності передачі пакета між двома вузлами будемо розглядати безпроводну сенсорну мережу з дев'яти вузлів. Будемо вважати, що вузли розташовані в просторі на одній площині розміром 30 м на 30 м. Розташовані по сітці.

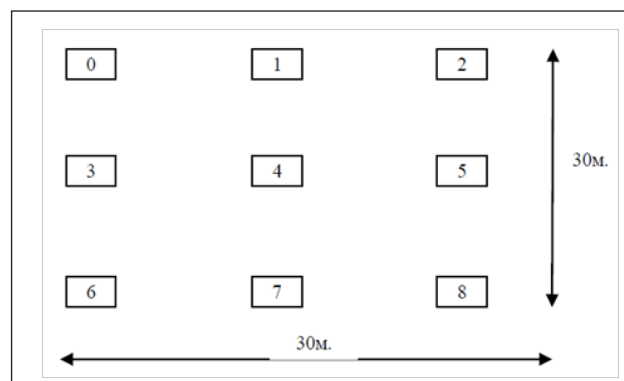


Рис. 1. Розташування вузлів

Для задання параметрів моделювання в системі Castalia використовуються конфігураційні файли. Розміщуватися такий файл повинен у папці цього моделювання (у нас `interNodes`), яка, у свою чергу, повинна міститися у папці `Simulations` системи Castalia. Для задання цієї просторової конфігурації використовуються параметри: `SN.field_x = 30`, `SN.field_y = 30`, `SN.numNodes = 9`, `SN.deployment = "3x3"`.

Час моделювання задаємо 100 с (параметр `sim-time-limit = 100 s`). Варто зазначити, що моделювання в системі Castalia відбувається не в реальному часі, тобто реальний час проведення експерименту буде не 100 с.

Для моделювання надійності передачі пакета даних між двома вузлами розроблений модуль додатку `InterNodes`, представлений файлами `interNodes.ned`, `interNodes.h`, `interNodes.cc`.

Кожний вузол з інтервалом 100 мс відправляє повідомлення на широкомовну адресу (утворюється рівномірний потік повідомлень), всього їх 100.

При цьому у кожного вузла заведена таблиця сусідів, що має структуру, представлену на рис. 2, де `id` – ідентифікатор вузла, `timesRx` – кількість пакетів, що прийшли від нього.

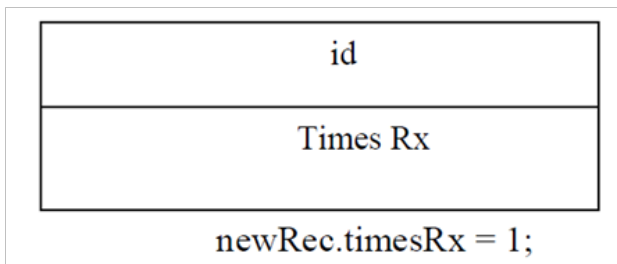


Рис. 2. Структура таблиці сусідів

Під час отримання повідомлення від вузла лічильник повідомлень для нього інкрементується. Після закінчення моделювання інформація за отриманими повідомленнями заноситься у вихідні дані, щоб їх можна було проаналізувати.

За результатами моделювання в середньому кожен вузол отримав 88 пакетів. Таким чином, видно, що в ідеальних умовах комунікаційного середовища не всі пакети були отримані, тобто можемо говорити про надійність зв'язку між вузлами з певною ймовірністю.

У таблиці 1 показано, скільки пакетів отримав кожен вузол від інших. Стовпці представляють вузли, а рядки – записи з таблиці сусідів, дані якої були записані у висновок після закінчення моделювання.

Таблиця 1

Кількість пакетів, отриманих кожним вузлом

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	100	0	99	67	0	0	0	0
1	100	0	100	77	100	67	0	0	0
2	0	100	0	0	65	100	0	0	0
3	100	72	0	0	100	0	100	69	0
4	64	100	65	100	0	100	75	100	72
5	0	69	100	0	100	0	0	72	100
6	0	0	0	100	72	0	0	100	0
7	0	0	0	72	100	76	100	0	100
8	0	0	0	0	76	100	0	100	0

Послідовно проводячи моделювання, можна помітити, що результати його будуть відрізнятися, що зумовлено випадковим характером багатьох факторів. Можна повторювати багаторазово моделювання для зниження похибки. При цьому результати беруться середні.

Провівши це моделювання 100 разів, ми зрозуміли, що загалом отримані дані практично ідентичні тим, що отримані в перший раз. Тому конкретніше розглянемо їх.

Кожен стовпець у таблиці 1 являє собою вузол, а рядки відповідають числу пакетів, отриманих від конкретного вузла. Оскільки кожен вузол відправив по 100 пакетів, можемо говорити про ці числа спрощено як про ймовірності доставки повідомлень між вузлами.

Ця таблиця може бути представлена як матриця суміжності з вагами. Побудуємо граф (рис. 3), вершини якого будуть відповідати вузлам, спрямовані ребра – напрямам передачі повідомлень, а їхня вага дорівнює ймовірності доставки повідомлення.

Таким чином, ми розглянули модель надійності передачі пакетів між двома вузлами в середовищі без перешкод.

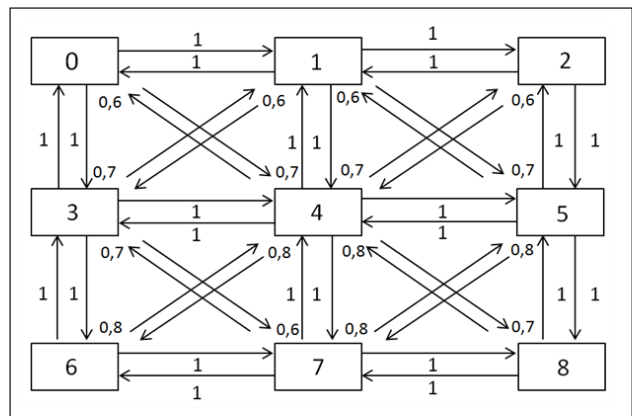


Рис. 3. Ймовірність доставки повідомлень між вузлами

Вплив перешкод на надійність комунікаційного середовища між двома вузлами в системі Castalia. Завадою називається стороннє обурення, що діє в системі передачі і перешкоджає правильному прийому сигналів.

Джерела перешкод можуть знаходитися як зовні, так і всередині самої системи передачі. Прикладами зовнішніх перешкод можуть слугувати предмети, що перешкоджають проходженню сигналу, атмосферні явища, прикладами внутрішніх – збої пристрою.

Для розгляду впливу перешкод ми визначили в налаштуваннях моделювання конфігурацію varySigma, за якої буде запущено моделювання з варіацією цього параметра (SN.wirelessChannel.sigma = {Sigma = 0,1,3,5}).

Для візуалізації використано команду CastaliaPlot, яка дає змогу будувати різні візуальні подання (графіки, діаграми і т. д.). З даних, що були отримані командою CastaliaResults [3]:

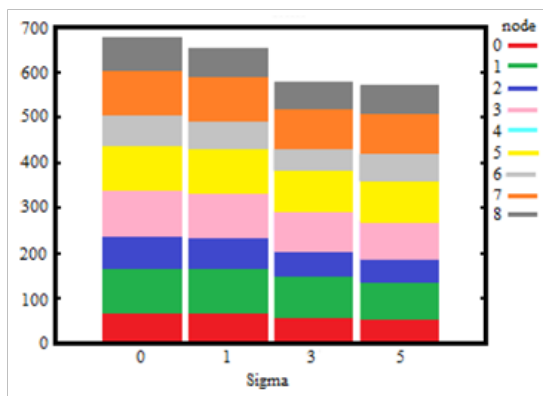


Рис. 4. Вплив завад на кількість отриманих пакетів

На рис. 4 представлена діаграма, що ілюструє, скільки пакетів отримав п'ятий вузол від інших, де Sigma – параметр, що відповідає за рівень перешкод; node – вузли, пронумеровані від 0 до 8 і позначені різними кольорами; число на осі ординат відповідає загальному числу отриманих повідомлень п'ятим вузлом, кожний кольоровий сегмент показує, скільки пакетів отримано від відповідного кольору вузла. Видно, що за відсутності перешкод було отримано близько семисот пакетів. Зі зростанням величини перешкод, починаючи з 3, кількість отриманих пакетів не падає значно, тобто можна відзначити, що надійність тут вже не залежить від рівня перешкод, що може

бути зумовлено хорошим протоколом каналного рівня.

Дослідження впливу потужності радіомодуля на надійність комунікаційного середовища між двома вузлами в системі Castalia. Для визначення впливу потужності радіомодуля визначимо в налаштуваннях моделювання конфігурацію varyTxPower, за якої буде запущено моделювання з варіацією цього параметра.

На рис. 5 представлена діаграма, що ілюструє, скільки пакетів отримав п'ятий вузол від інших, де TXpower – параметр, що відповідає за рівень потужності радіомодуля; node – вузли, пронумеровані від 0 до 8 і позначені різними кольорами; число на осі ординат відповідає загальному числу отриманих повідомлень п'ятим вузлом, кожний кольоровий сегмент показує, скільки пакетів отримано від відповідного кольору вузла. Видно, що за рівня потужності -5dBm було отримано близько семисот пакетів. Зі зростанням величини потужності, починаючи з -3dBm, кількість отриманих пакетів зростає до восьмисот, тобто можемо говорити, що надійність тут вже не залежить від рівня потужності радіомодуля.

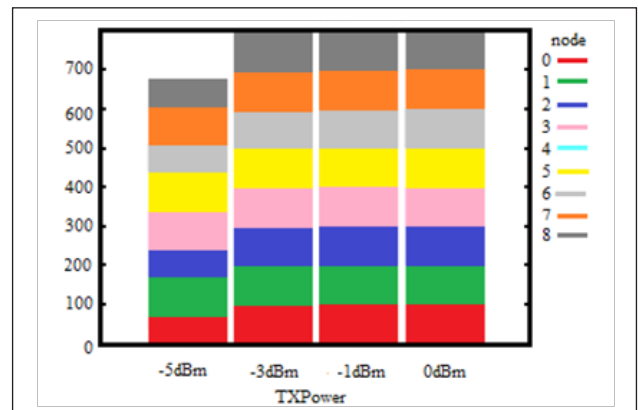


Рис. 5. Вплив рівня завад радіомодуля на кількість отриманих пакетів

Висновки. Запропоновано метод підвищення надійності безпроводних сенсорних мереж шляхом вибору оптимального алгоритму маршрутизації та підвищення надійності акумулятора датчика. Згідно з методом зроблені розрахунки. Їх можна вдосконалювати шляхом удосконалення результатів та підбору нових методів маршрутизації, точності позиціонування і налаштувань акумулятора датчиків.

Список літератури:

1. Акімов Є.В., Кузнецов М.Н. Вірогіднісні математичні моделі для оцінки надійності безпроводних сенсорних мереж // Електронний журнал «Труди МАИ». Випуск № 40 // URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/>.

2. Половко А.М., Гуров С. В. Основы теории надёжности. – СПб.: БХВ-Петербург 2006. – 560 с.
3. Castalia official site URL: <http://castalia.research.nicta.com.au>.
4. Баскаков С.С. Исследование способов повышения эффективности маршрутизации по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. – № 2. – С. 112–124.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТА ДАННЫХ МЕЖДУ ДВУМЯ УЗЛАМИ В СИСТЕМЕ CASTALIA

В статье рассмотрена имитационная модель беспроводной сенсорной сети, построенная в системе моделирования Castalia. На основе этой модели проведено исследование надежности передачи пакетов данных между двумя узлами и влияния преград на надежность коммуникационного пространства между двумя узлами в системе Castalia.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, модель, надежность.

RESEARCH RELIABILITY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

This article examines the simulation model of wireless sensor network, built in Castalia modeling system. In this system was investigated the reliability of data packets transmission between two nodes and influence of interference on the reliability of communication environment between two nodes.

Key words: wireless sensor network, model, reliability.

Кузьменко Б.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ХОЛОДНИЙ ЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ І ХОЛОДНА ТРАНСМУТАЦІЯ ЯДЕР. РЕАКТОР РОССІ

Розглянуто питання сучасного стану, теорії і практики холодного ядерного синтезу та питання становлення і розвитку відповідних положень. Також розглянуто питання щодо реактора Россі.

Ключові слова: холодний ядерний синтез, трансмутація ядер, реактор Россі.

Холодний ядерний синтез – передбачувана можливість здійснення ядерної реакції синтезу в хімічних (атомно-молекулярних) системах без значного нагрівання робочої речовини. Відомі ядерні реакції синтезу – термоядерні реакції – проходять у плазмі за температур у мільйони кельвінів. У зарубіжній літературі відомий також під назвами «низькоенергетичні ядерні реакції» (LENR, low-energy nuclear reactions), «хімічно асоційовані (індуковані) ядерні реакції» (CANR). Безліч повідомлень і великі бази даних про вдале здійсненні експерименту згодом виявлялися або «газетними качками», або результатом некоректно поставлених експериментів. Провідні лабораторії світу не змогли повторити жодного подібного експерименту, а якщо і повторювали, то з'ясувалося, що автори експерименту, як вузькі фахівці, невірно трактували отриманий результат або взагалі неправильно ставили дослід, не проводили всіх необхідних вимірювань тощо [1–4]. Натепер не існує переконливих доказів існування цього явища. Для того щоб сталася ядерна реакція, необхідно зблизити ядра на відстань, коли матиме місце сильна взаємодія. Цьому перешкоджає більш далеко діюче кулонівське відштовхування. Щоб зблизити ядра, потрібно витратити енергію $\sim 0,1$ МеВ. Цьому відповідає температура порядку 11 мільйонів градусів за Цельсієм, що є теоретичною межею. Для отримання економічно ефективної установки потрібні температури мають бути у декілька разів більші. Тому більшість учених ставляться до заяв про ХЯС зі скептицизмом і недовірою.

Повідомлення хіміків Мартіна Флейшмана (англ.) і Стенлі Понса (англ.) про електрохімічний індукований ядерний синтез – перетворення дейтерію у тритій або гелій в умовах електролізу

на паладієвому електроді, що з'явилося в березні 1989 року, наробило багато галасу [5–6]. Журналісти назвали ці досліди ХЯС. Експерименти Флейшмана і Понса не змогли відтворити інші вчені, і наукове співтовариство вважає їх заяви неповними і неточними [7–8]. У січні 2011 року Андреа Россі (Andrea Rossi, Болонья, Італія), як стверджується, випробував дослідну установку «Каталізатор енергії Россі» з перетворення нікелю в мідь за участю водню, а 28 жовтня 2011 року ним була продемонстрована для журналістів відомих ЗМІ та замовника зі США промислова установка на 1 МВт. Ця історія викликала сплеск інтересу ЗМІ. За однією із заяв Россі у січні 2011 року, він має чітке розуміння про задіяний механізм, але відмовляється розкривати його, поки не буде отримано патент [9].

Професор Уго Барді (Ugo Bardì) з Флорентійського університету, відзначаючи суперечливі заяви Россі про наявність/відсутність гамма-випромінювання, розміщенні виробництва (то у Флориді, то не в США), а також те, що частина прихильників і спонсорів вже вийшли з проекту, в березні 2012 року висловився так: «E-Cat досяг свого кінця. Він ще має кількох впевнених прихильників, але, найімовірніше, незабаром кане в пітьму патологічної науки, до якої він і належить» [10]. У 2014 році група Джузеппе Леві, в яку увійшли Евелін Фоскі, Ханно Ессен, Бо Хойстад, Роланд Петерсон і Ларс Тегнер, досліджувала параметри процесу. Експерти підтвердили, що пристрій, в якому один грам палива нагрівали до температури близько 1400 °С за допомогою електрики, виробляв аномальну кількість тепла [11; 12].

У 2008 році видавництвом «Наука» була видана книга Є.А. Смородова, Р.Н. Галіахметова і М.А. Ільгамова М. А. [25] «Физика и химия кави-

тації», яка присвячена визначенню меж концентрації енергії (кумуляції) за нелінійного стиснення газових бульбашок під дією змінного зовнішнього тиску і вивченню природи фізико-хімічних ефектів, які супроводжують таке стиснення. Актуальність теми набула особливої гостроти після повідомлень про можливість ініціювання термоядерних реакцій у цих умовах. У книзі розглядаються різні методи акустичної та гідродинамічної кумуляції енергії під час кавітації, проводиться огляд наукових публікацій на цю тему по 2006 рік включно. Розглянутий в четвертому розділі холодний ядерний синтез (ХЯС) став загальним серед фізиків і має на меті показати, що далеко не всі канали ядерного синтезу вивчені [26].

Нещодавно опубліковані дані останніх експериментів із вивчення незвичайного генератора Росії, що обіцяє енергетичну революцію. У 2009 році Росія подав заявку на патентування свого пристрою, який у процесі екзотермічної реакції (з виділенням тепла) між нікелем і воднем виробляє мідь. За заявою Росії, це фактично термоядерний реактор, який працює на основі низькоенергетичної термоядерної реакції і у процесі трансмутації металів виділяє багато тепла. Росія очікував світового визнання, але отримав сумнівну славу авантюриста, оскільки не зміг одразу надати переконливих доказів працездатності свого пристрою. Відтоді Росія намагається реабілітуватися і паралельно виробляє прототипи для випробувань, зокрема, він заявляв, що його пристрій тестує Пентагон. Нещодавно вчені з Італії і Швеції опублікували документ, в якому описані експерименти з установкою LENR. Детальний опис дає змогу повторити експерименти і переконатися у працездатності генератора. Відомий дослідник низькоенергетичних ядерних реакцій (LENR) Джек Ротвелл вже дав позитивний висновок із приводу останніх публікацій про дослідження пристрою скандально відомого винахідника Андреа Россі (Andrea Rossi). Джек Ротвелл зазначає, що експериментатори не бра-

лися за теоретизування з приводу природи реакції в установці Росії, а лише підтвердили, що установка дійсно працює і виробляє енергію, причому багато енергії. Проводилися два експерименти з двома різними генераторами. На одному генераторі вдалося отримати на виході 62 кВт*год за споживання 33 кВт*год. При цьому щільність теплової енергії становила $6 \cdot 10^7$ Вт/кг. На другому генераторі вихід енергії становив 160 кВт*год, а її щільність – $6,8 \cdot 10^5$ Вт/кг. Різницю в результатах, отриманих на двох різних генераторах, вчені пояснюють різним способом підрахунку початкової маси палива. Проте щільність енергії, яку може виробити установка Росії, що працює на нікелі і водні, становить не менше $(7,93 \pm 0,8) \cdot 10^2$ МДж на літр об'єму LENR-реактора. Іншими словами, за співвідношенням габарити/потужність реактор мінімум на порядок ефективніший, ніж будь-яке з існуючих джерел енергії. При цьому у процесі експерименту жоден генератор не вичерпав своє паливо – вони були вимкнені примусово, хоча, швидше за все, могли видати ще більше енергії. У процесі експериментів LENR-генератор підтвердив свою працездатність, хоча деякі вчені «традиційно» сумніваються у їх результатах і вважають упередженими вчених-експериментаторів Джузеппе Леві (Bologna University), Евелін Фосчі (Bologna, Italy), Торб'ерна Хартмана і його колег з Упсальського університету (Швеція). Зараз планується нова серія експериментів, на цей раз довгострокових. Почнуться вони влітку і, напевно, стануть приводом для нових дискусій. Можливо, працездатність LENR остаточно підтвердиться й епоха урану, нафти і газу закінчиться, а паливом нового покоління стане водень і нікель. Прогрес у цій галузі обіцяє бути швидким, адже працездатна установка LENR має низку переваг, таких як висока потужність за малих габаритів, радіаційна безпека і проста логістика: водень можна виробляти за допомогою енергії самої реакції, а метал транспортувати набагато простіше, ніж уран або скраплений газ.

Список літератури:

1. Physicists Debunk Claim Of a New Kind of Fusion.
2. U.S. Will Give Cold Fusion Second Look, After 15 Years – NYTimes.com.
3. Cold Fusion: The Ghost of Free Energy | GroundReport.
4. Холодный синтез: миф и реальность // Алексей Левин, «Популярная механика». – № 8, 2011.
5. Fleischmann, M; Pons S & Hawkins M (1989). «Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium». J. Electroanal. Chem. 261 (2): 301. DOI:10.1016/0022-0728(89)80006-3.
6. Холодный термояд не тонет // Газета.ру, 2009 (рус.).
7. Henry Krips, J. E. McGuire, Trevor Melia. Science, Reason, and Rhetoric. – University of Pittsburgh Press, 1995. – С. xvi. – ISBN 0-8229-3912-6.

8. Bart Simon. Undead Science: Science Studies and the Afterlife of Cold Fusion. – Rutgers University Press, 2002. – С. 119. – ISBN 0-8135-3154-3.
9. A. Rossi. Energy catalyzer: it works and it's not fusion . New Energy Times (31 января 2011). Архивировано из первоисточника 28 августа 2012 г.
10. «Cassandra's legacy: The sinking of the E-Cat» – Ugo Bardi – March 2012. Оригинальный текст (англ.)
11. Андреев С.Н. Запретные превращения элементов . Химия и жизнь (28 июля 2015 г.).
12. Levi, Giuseppe; Evelyn, Foschi; Bo, Hoistad; Roland, Pettesson; Lars, Tegnér; Hanno, Essén. Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel . AMS Acta (13 октября 2014 г.).
13. Ильгамов Марат Аксанович. Научные труды, ИММ КазНЦ РАН.
14. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н., Ильгамов М.А. Физика и химия кавитации. – М.: Наука, 2008. – 228 с.

ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ И ХОЛОДНАЯ ТРАНСМУТАЦИЯ ЯДЕР. РЕАКТОР РОССИИ

Рассмотрены вопросы современного состояния, теории и практики холодного ядерного синтеза и вопросы становления и развития соответствующих положений. Рассмотрены вопросы касательно реактора Росси.

Ключевые слова: холодный ядерный синтез, трансмутация ядер, реактор Росси.

COLD FUSION AND FUSION NUCLEI. REACTOR ROSSI

The questions of the current state of the theory and practice of cold fusion, and the issue of formation and development of the relevant provisions. The questions concerning the reactor Rossi.

Key words: cold nuclear synthesis, nuclear transmutation, Rossi reactor.

УДК 539.3

Левченко В.В.

Национальный университет пищевых технологий

ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ОБЪЕМНЫЕ ВОЛНЫ В РЕГУЛЯРНО-СЛОИСТОЙ СРЕДЕ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА

В работе развит метод исследования объемных упругих волн в регулярно-слоистой среде при условии идеального проскальзывания на границах раздела слоев. Получены дисперсионные соотношения. Результаты представлены в виде дисперсионных соотношений для объемных волн и графических зависимостей.

Ключевые слова: регулярно-слоистая среда, плоскополяризованные волны, проскальзывание на границах раздела, дисперсионные соотношения.

Исследованию особенностей распространения волн различной физической природы в периодических структурах посвящено большое количество работ [1–6]. Основными проблемами, которым посвящены эти работы, являлось изучение условий существования объемных волн и зонного спектра их распространения. Исследование дисперсионных свойств объемных волн в регулярно-слоистых средах в настоящее время является открытым [1; 2], поэтому статья посвящена этой проблеме.

Для исследования объемных волн рассмотрим слоистую среду, которая образована периодическим повторением порождающего пакета из двух изотропных слоев. Свойства слоев характеризуются параметрами Ламе λ_q, μ_q , плотностью ρ_q и толщиной h_q ($q = 1, 2$). На границах раздела свойств $z_{n,q} = 2(n-1) + h_1 + h_q$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) выполняются условия идеального проскальзывания. Среда отнесена к декартовой системе координат в предположении, что ось $\bar{1}, \bar{3}$ перпендикулярна границам раздела слоев. Гармоническая плоскополяризованная волна распространяется вдоль оси ox , а вектор смещений имеет вид $\bar{u} = \{u(x, z, t); 0; w(x, z, t)\}$. Компоненты u и w удовлетворяют уравнениям [3; 4]

$$\mu \Delta u(x, z, t) + (\lambda + \mu) \partial_x (\partial_x u(x, z, t) + \partial_z w(x, z, t)) = \rho \partial_t^2 u(x, z, t); \quad (1)$$

$$\mu \Delta w(x, z, t) + (\lambda + \mu) \partial_z (\partial_x u(x, z, t) + \partial_z w(x, z, t)) = \rho \partial_t^2 w(x, z, t)$$

и имеют место зависимости

$$\sigma_{zz}(x, z, t) = (\lambda + 2\mu) \partial_x u(x, z, t) + \lambda \partial_z w(x, z, t); \quad (2)$$

$$\sigma_{zx}(x, z, t) = \lambda \partial_x u(x, z, t) + (\lambda + 2\mu) \partial_z w(x, z, t).$$

Решение системы уравнений (1) выбираем в виде

$$u(x, z, t) = i[k\Phi_1(z) + \Phi_3'(z)] \exp(ikx - i\omega t); \quad (3)$$

$$w(x, z, t) = [k\Phi_1'(z) - k\Phi_3(z)] \exp(ikx - i\omega t)$$

функции $\Phi_j(z)$ удовлетворяют уравнениям

$$\Phi_1'' + \Omega_p^2 \Phi_1 = 0, \quad \Phi_3'' + \Omega_s^2 \Phi_3 = 0. \quad (4)$$

В уравнениях (4) введены обозначения

$$\Omega_p = \sqrt{k_p^2 - k^2}, \quad \Omega_s = \sqrt{k_s^2 - k^2}, \quad k_p^2 = \omega^2/c_p^2, \quad k_s^2 = \omega^2/c_s^2,$$

$$c_p^2 = (\lambda + 2\mu)/\rho, \quad c_s^2 = \mu/\rho.$$

Тогда решение волновых уравнений в слоях следует искать в виде

$$w(x, z) = \Omega_p [-A_{2(n-1)+q}^{(1)} \sin(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q}) + A_{2(n-1)+q}^{(3)} \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q})] +$$

$$k [A_{2(n-1)+q}^{(2)} \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q}) + A_{2(n-1)+q}^{(4)} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q})]; \quad (5)$$

$$\sigma_{zz}(x, z) = \mu(2k^2 - k_s^2) [A_{2(n-1)+q}^{(1)} \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q}) + A_{2(n-1)+q}^{(3)} \sin(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q})] +$$

$$2\mu k \Omega_s [A_{2(n-1)+q}^{(2)} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q}) - A_{2(n-1)+q}^{(4)} \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q})];$$

$$\sigma_{zx}(x, z) = 2\mu k \Omega_p [-A_{2(n-1)+q}^{(1)} \sin(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q}) + A_{2(n-1)+q}^{(3)} \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_{n,q})] +$$

$$\mu(2k^2 - k_s^2) [A_{2(n-1)+q}^{(2)} \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q}) + A_{2(n-1)+q}^{(4)} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_{n,q})].$$

В формулах (5) множитель $\exp(ikx - i\omega t)$ опущен. На поверхностях раздела свойств выполняются граничные условия

$$\sigma_z(x, \bar{z}_{n,q} - 0) = \sigma_z(x, \bar{z}_{n,q} + 0); \quad w(x, \bar{z}_{n,q} - 0) = w(x, \bar{z}_{n,q} + 0) \quad (6)$$

и условия, вытекающие из требования идеального проскальзывания,

$$\sigma_{zx}(x, z_{nq}) = 0. \quad (7)$$

Из (7) следует, что постоянные $A_i^{(i)}$ не могут быть произвольными, а связаны соотношениями

$$A^{(2)} = P_q^{(21)} A^{(1)} + P_q^{(23)} A^{(3)}; \quad A^{(4)} = P_q^{(43)} A^{(3)}. \quad (8)$$

В выражениях (8) введены обозначения

$$P_q^{(43)} = -(2k\Omega_{p,q})/(2k^2 - k_{s,q}^2); \quad P_q^{(21)} = (2k\Omega_{p,q} \sin \theta_{p,q})/(2k^2 - k_{s,q}^2) \sin$$

$$P_q^{(23)} = (2k\Omega_p (\cos \theta_{p,q} - \cos \theta_{s,q})) / (2k^2 - k_{s,q}^2) \sin \theta_{s,q};$$

$$\theta_{p,q} = h_q \Omega_{p,q}; \quad \theta_{s,q} = h_q \Omega_{s,q}.$$

Используя соотношения (8), решения для w и σ_z можно представить таким образом:

$$w(x, z) = M_q^{11}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) A_{2(n-1)+q}^{(1)} + M_q^{12}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) A_{2(n-1)+q}^{(3)}; \quad (9)$$

$$\sigma_z(x, z) = M_q^{21}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) A_{2(n-1)+q}^{(1)} + M_q^{22}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) A_{2(n-1)+q}^{(3)},$$

где

$$M_q^{11}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) = -\Omega_{p,q} \sin(\Omega_{p,q} \bar{z}_q) + k \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_q);$$

$$M_q^{12}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) = \Omega_{p,q} \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_q) + k P^{23} \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_q) + k P^{43} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_q);$$

$$M_q^{21}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) = \mu[(2k^2 - k_s^2) \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_q) + 2k \Omega_{s,q} P^{21} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_q)];$$

$$M_q^{22}(\Omega_{p,q}, \Omega_{s,q}, \bar{z}_q) = \mu[(2k^2 - k_s^2) \cos(\Omega_{p,q} \bar{z}_q) + 2k \Omega_{s,q} (P^{23} \cos(\Omega_{s,q} \bar{z}_q) - P^{43} \sin(\Omega_{s,q} \bar{z}_q))].$$

Подстановка решений (9) в граничные условия (6) позволяет свести исходную задачу к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений

$$M_1(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, h_1) \bar{A}_{2(n-1)+1} = M_2(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, 0) \bar{A}_{2n}; \quad (10)$$

$$M_2(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, h_2) \bar{A}_{2n} = M_1(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, 0) \bar{A}_{2n+1}.$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

В системе (10) введены векторы-столбцы $\bar{A}_{2(n-1)+i} = colon(A_{2(n-1)+i}^{(1)}, A_{2(n-1)+i}^{(3)})$ и матрицы

$$M_i(\Omega_{p,i}, \Omega_{s,i}, h_i) = \begin{bmatrix} M_i^{11}(\Omega_{p,i}, \Omega_{s,i}, h_i) & M_i^{12}(\Omega_{p,i}, \Omega_{s,i}, h_i) \\ M_i^{21}(\Omega_{p,i}, \Omega_{s,i}, h_i) & M_i^{22}(\Omega_{p,i}, \Omega_{s,i}, h_i) \end{bmatrix}$$

Непосредственные вычисления позволяют показать, что детерминант передаточной матрицы порождающего пакета слоев

$$Mp = M_2(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, h_2) M_2^{-1}(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, 0) M_1(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, h_1) M_1^{-1}(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, 0)$$

равен единице, и характеристическое уравнение запишется в виде

$$\chi^2 - 2b_2 \chi + 1 = 0, \quad b_2 = spur Mp / 2.$$

Решение системы уравнений (10) ищем в виде [3; 4]:

$$\bar{A}_{2n-1} = \sum_{j=1}^2 K_j \chi_j^n M_2^{-1}(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, 0) M_1(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, h_1) M_1^{-1}(\Omega_{p,1}, \Omega_{s,1}, 0) \bar{Y}_j;$$

$$\bar{A}_{2n} = \sum_{j=1}^2 K_j \chi_j^n M_2^{-1}(\Omega_{p,2}, \Omega_{s,2}, 0) \bar{Y}_j. \quad (11)$$

Здесь Y_j – собственные векторы передаточной матрицы Mp .

Требование ограниченности решений (11) при $n \rightarrow \pm\infty$ позволяет получить условие существования обменных волн в рассматриваемой структуре $|b_2| < 1$. Границы зон пропускания

$$b_2 = 1 \quad (12)$$

$$b_2 = -1 \quad (13)$$

являются дисперсионными соотношениями для объемных волн. Формы колебаний на границах зон пропускания линейно- и плоскополяризованных волн исследовались в работах [5; 6]. В этих работах показано, что колебания, соответствующие дисперсионному соотношению (12), имеют периодом порождающий пакет, а колебания, соответствующие (13), имеют периодом два пакета. С целью получения дисперсионных соотношений, которые соответствуют колебаниям

с периодом m пакетов, выполним вычисления, подобные проведенным выше, предположив, что порождающий пакет имеет $2m$ слоев. Дисперсионное соотношение в этом случае будет таким:

$$spur(MP^m) / 2 = 1. \quad (14)$$

Используя формулу Абелеса [1; 2], последнее соотношение можно переписать в виде $b_2 U_{m-1} - U_{m-2} = 1$, где $U_m(b_0)$ – полиномы Чебышева второго рода $U_n^{(0)}$ -го порядка. Используя рекуррентное соотношение $U_{L-1}^2(b_0) - 2b_0 U_{L-1}(b_0) U_{L-2}(b_0) + U_{L-2}^2(b_0) = 1$, которое является следствием унимодулярности матрицы Mp , дисперсионное соотношение (14) можно свести к виду

$$b_0 = \cos(l\pi / m). \quad (15)$$

$$l = 0, 1, \dots, m$$

Как следует из вида уравнений (15), в каждой зоне пропускания $-1 \leq b_0 \leq 1$ локализовано m дисперсионных кривых периодов колебаний, которых будет $2m$ слоев. Эти дисперсионные кривые следует характеризовать набором из трех индексов (s, l, m) , где s – номер зоны пропускания. Типы колебаний (s, l, m) и (s, pl, pm) совпадают (p – целое число), колебания (s, l, m) и $(s, l, m - l)$ вырождены. В общем случае анализ выражений (15) возможен только численно.

Числовые результаты. Численный анализ дисперсионных соотношений (15) проводился при таких параметрах слоев: $v_1 = 0,35$, $v_2 = 0,3$, $E_2/E_1 = 20$, $\rho_2/\rho_1 = 2$, $h_1/h = 0,5$, $h_2/h = 0,5$ (v_i – коэффициенты Пуассона, E_i – модули Юнга, $h = h_1 + h_2$). Результаты расчетов при $m = 4$ и $l = 1$ наведены в безразмерных координатах $\bar{\omega} = \omega h / c_{s,1}$, $\bar{k} = kh$ на рис. 1.

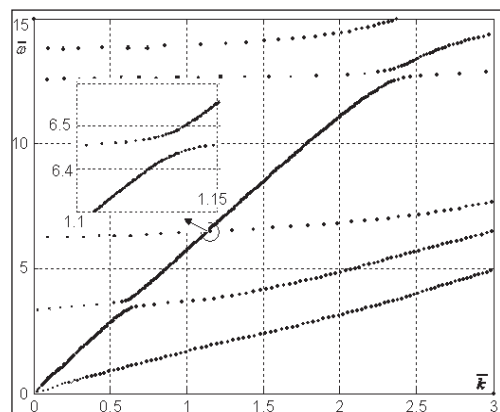


Рис. 1. Результаты расчетов

Из результатов, представленных на графике, следует, что имеются диапазоны частот, в которых происходит расталкивание дисперсионных кривых. После расталкивания дисперсионные

кривые обмениваются углами наклона. Особенности расталкивания и иллюстрирует вставка на рисунке. Для рассматриваемых исходных данных диапазоны расталкивания лежат на одной прямой.

Более полное представление о волновом процессе в структуре дает изучение форм колебаний. На рис. 2–4 в координатах $\bar{z} = z/h$, $\bar{w} = w(z)/w(0)$ представлены формы колебаний. Значения \bar{k} и $\bar{\omega}$, для которых выполнялся анализ колебаний, нанесены на рисунках. На рис. 2 приведены формы колебаний для частот второй моды до расталкивания дисперсионных кривых и после. Распределение перемещений по слоям приведены на рис. 3 для мод с $s = 3, 4, 5$.

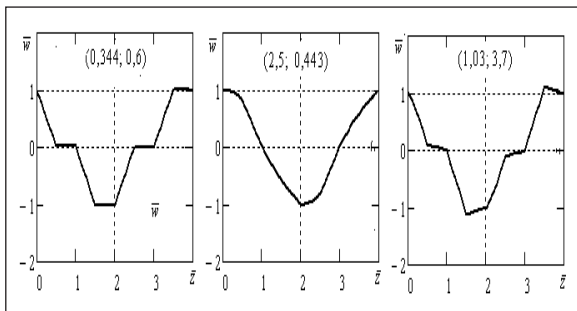


Рис. 2. Формы колебаний для частот второй моды, $m = 4$, $l = 1$

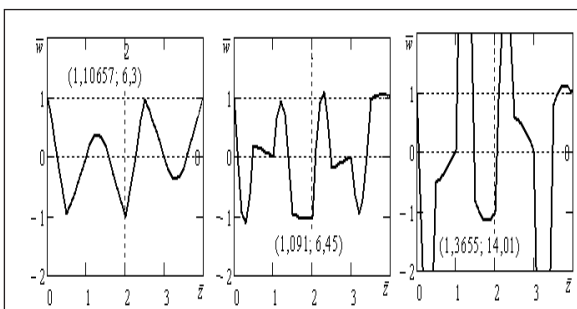


Рис. 3. Формы колебаний для частот третьей-пятой моды, $m = 4$, $l = 1$

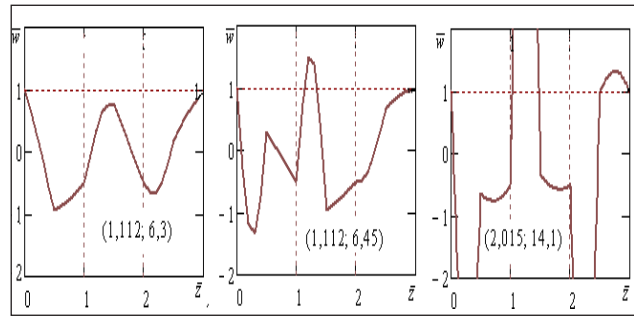


Рис. 4. Формы колебаний для частот третьей-пятой моды, $m = 3$, $l = 2$

Как показали численные эксперименты, при четном значении m формы колебаний обладают симметрией, которая подчиняется правилу $w(\frac{h}{2}m - z) = -w(hm - z)$, $0 \leq z \leq \frac{z}{2}mh$, а также правилу $w(sh) = 0$, где $s = 1, 3, 5, \dots$. Дисперсионные кривые в этом случае подобны показанным на рис. 1, поэтому на отдельном рисунке не представлены. Анализ проводился для мод, совпадающих с модами на рис. 2, и близких значений частот. Как следует из рисунков, формы колебаний и симметрия существенно отличаются от колебаний, представленных на рис. 2, несмотря на совпадение мод и близость частот. При m нечетном отсутствует симметрия, присущая колебаниям при m четном. С ростом значения m формы колебаний на расстоянии mh становятся более сложными.

В статье приведена постановка задачи о распространении плоскополяризованных волн в регулярно-слоистой структуре при проскальзывании на границах раздела слоев. Получены дисперсионные соотношения для объемных волн. Численно исследованы формы колебаний и их симметричность относительно пакетов порождающих слоев для разных мод.

Список литературы:

1. Баас Ф.Г. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками / Ф.Г. Баас, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. – М. Наука, 1989. – 288 с.
2. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф – М.: Наука, 1970. – 886 с.
3. Шульга Н.А. Основы механики слоистых сред периодической структуры. / Н.А. Шульга К.: Наук думка, 1982. – 200 с.
4. Levchenko V.V. Propagation of magnetoelastic shear waves through a regularly laminated medium with metalized interfaces / V.V. Levchenko //Int. Appl. Mech. – 2004. – 40, № 1. – P. 97–25.
5. Levchenko V.V. Mode shapes at the boundaries of the transmission zones for plane-polarized bulk waves in a regularly layered medium / V.V. Levchenko, A.N. Podlipenets and N.A. Shul`ga B.B. //Int. Appl. Mech. – 1985. – 21, № 1 – P. 13–16.
6. Levchenko V.V. Mode Shapes at The boundaries of the transmission zones for Shear bulk waves V.V. Levchenko, A.N. Podlipenets and N.A. Shul`ga //Prikl. Mech/ – 1984. – 20, № 11. – P. 38–45.

ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАНІ ОБ'ЄМНІ ХВИЛІ В РЕГУЛЯРНО-ШАРУВАТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІЗ ПРОСЛИЗАННЯМ НА МЕЖАХ РОЗДІЛУ

У статті розвинений метод дослідження об'ємних плоскополяризованих пружних хвиль у регулярно-шаруватому середовищі за умови ідеального прослизання на межах розділу шарів. Отримані дисперсійні співвідношення. Результати представлені у вигляді дисперсійних співвідношень для об'ємних хвиль і графічних залежностей.

Ключові слова: *регулярно-шарувате середовище, плоскополяризовані хвилі, прослизання на межах розділу, дисперсійні співвідношення.*

FLAT-LEAVED VOLUME WAVES IN THE REGULARLY-STRATIFIED ENVIRONMENT WITH SLIPPING ON BORDERS OF DIVISION

The method of research of by volume resilient waves is in-process developed in the regularly-stratified environment on condition of the ideal slipping on the borders of division of layers. Dispersible correlations are got. Results are presented as dispersible correlations for by volume waves and graphic dependences.

Key words: *regularly-stratified environment, flat-leaved waves, slipping on the borders of division, dispersible correlations.*

УДК 520.6.05

Лисенко О.І.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Явіся В.С.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ НАНОСУПУТНИКА

У статті досліджуються методи одержання сигналів управління виконавчими органами систем орієнтації та стабілізації просторового положення надмалих космічних апаратів. Традиційні методи оцінюються з погляду можливості їх практичної реалізації, а також з урахуванням обмежень на ваго-габаритні показники.

Ключові слова: безплатформна інерційна система, сигнал управління, система орієнтації і стабілізації, наносупутник.

Постановка проблеми. Під час перебування на орбіті наносупутник (НС) зазнає збурень, тому навіть у разі забезпечення правильної орієнтації під час виводу на орбіту через деякий час виникає необхідність керування його положенням.

Традиційно для вирішення завдання орієнтації та стабілізації застосовуються два методи [1]: пасивний та активний.

У разі, коли НС вирішує завдання, не пов'язані з необхідністю змінювати його просторове розташування протягом усього строку експлуатації, доцільно використовувати пасивні методи.

В інших ситуаціях обґрунтованим буде застосування активних методів, оскільки саме вони, крім стабілізації, здатні забезпечити зміну орієнтації впродовж коротких інтервалів часу. Активні методи стабілізації бувають трьох типів: стабілізація за допомогою двигунів-маховиків; стабілізація за допомогою моментного магнітоприводу; система стабілізації з реактивними двигунами [2; 3].

Незалежно від того, яка система стабілізації та орієнтації буде використовуватися, для її роботи необхідно одержати сигнали управління. Таке завдання вирішується, як правило, за допомогою інерціальних систем.

Аналіз досліджень і публікацій. Інерція є найбільш універсальним фактором, що дає змогу створити прилади для реєстрації зміни швидкості тіл у просторі. Такі прилади, називані акселерометрами або датчиками прискорень, дають змогу

вимірювати проекцію на свою вісь чутливості прискорення тієї точки НС, де він установлений. Акселерометр реагує тільки на сили, що прикладаються за посередництвом НС. Якщо один зі складників загальної сили, що визначає прискорений рух НС, зумовлений дією тяжіння, то відповідний їй складник прискорення не може бути виміряний акселерометром. Сили тяжіння діють однаково як на прилад, так і на НС, і тому за відсутності інших сил за допомогою акселерометра не можуть бути виявлені.

Таким чином, під час руху НС у полі тяжіння вимірюване акселерометром прискорення відрізняється від дійсного, тому одержало назву *гаданого прискорення*. Вимір гаданого прискорення дає змогу визначити дійсне положення НС щодо центру тяжіння за допомогою інтегрування навігаційного рівняння:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{dU}{dR} + a_k,$$

де R – вектор положення центру маси НС щодо центру тяжіння; a_k – вектор гаданого прискорення центру маси НС; U – вектор-потенціал поля тяжіння.

Для управління необхідно знати три ортогональні складові вектори a_k , тобто мати три датчики, встановлені у центрі маси НС, із трьома взаємно перпендикулярними осями чутливості. Ці осі чутливості повинні бути орієнтовані за тими осями координат, у яких заданий вектор R . Три-

едр осей чутливості акселерометрів являє собою *осі вимірювальної системи*, а осі, у яких заданий вектор R , – *інерційний координатний базис*, тобто базис, щодо якого відраховується абсолютне прискорення. Осі інерції (або осі форми) НС не збігаються з інерційним базисом, а обертаються щодо нього залежно від напрямку вектору швидкості центру маси НС. Отже, для управління за допомогою виміру гаданих прискорень, або *інерційного управління*, необхідно або сполучати осі вимірювальної системи з інерційним координатним базисом незалежно від руху НС, або в кожний момент часу знати взаємне розташування осей вимірювальної системи й інерційного базису. В останньому варіанті складники вектору гаданого прискорення з осей вимірювальної системи повинні бути перепроєктовані на осі інерційного координатного базису [4].

Найбільш вигідним розташуванням вимірювальної системи для другого з названих вище варіантів інерційного управління є сполучення її осей з осями форми НС.

Таким чином, технічна реалізація методу інерційного управління можлива у двох варіантах. Перший – за допомогою пристроїв, які не обертаються разом із НС і, зберігаючи своє положення відносно інерційного базису, слугують опорою для вимірювальної системи. Другий варіант – за допомогою пристроїв, які забезпечують обчислення параметрів, що визначають кути між осями вимірювальної системи й інерційного базису, а також проектування вимірюваних компонентів прискорення на осі цього базису.

Перший варіант вимагає наявності приладів, що фізично моделюють інерційний базис на борті НС, – гіростабілізованих платформ, другий – використання безплатформних систем.

Створення безплатформних систем стримувалося внаслідок обмежених можливостей цифрових обчислювальних машин, здатних у реальному часі вирішувати складні рівняння зв'язку двох координатних систем, тоді як рівень розвитку гіроприладобудування вже давав змогу створити високоточні тривісні платформи.

Зараз ситуація стала діаметрально протилежною. Під час реалізації платформових систем забезпечення необхідної надійності та збільшення точності виявилось пов'язаним зі значним ростом маси й габаритів платформ, негативною є і їхня чутливість до великих перевантажень і кутів обертання, що характерно для НС. Тому безплатформні інерційні системи (БІС) завдяки наявності сьогодні високошвидкісних обчислювальних при-

строїв у мініатюрному виконанні займають лідируюче положення під час створення нових систем управління об'єктами, для яких є критичними ваго-габаритні показники таких систем [4; 5].

Постановка завдання. БІС, як і будь-яка інерційна система управління НС, як правило, складається із двох підсистем, які іменуються навігаційною системою і системою стабілізації. Завдання навігаційної системи – визначити початкове положення НС і програму польоту. Завдання системи стабілізації – забезпечити управління таким чином, щоб виконати програму польоту з необхідною точністю. Під час автоматизації системи стабілізації насамперед вирішується завдання демпфірування коливань НС, що виникають за зміни програми польоту і дії зовнішніх збурень.

Теорія повністю автоматизованої системи стабілізації, як і будь-якої системи автоматичного управління, містить математичний опис руху НС, який розглядається як об'єкт управління. Центральним завданням цієї теорії є обґрунтування вибору законів управління, тобто співвідношень, що зв'язують різницю між вимірюваними поточними і програмними значеннями параметрів руху НС із командами на органі управління. Закони управління в сучасних системах стабілізації НС, крім забезпечення точності, стійкості та певного характеру перехідного процесу в системі, повинні екстремізувати певні критерії [4].

У платформних системах фізично реалізуються кути між осями інерційного базису й осями вимірювальної системи. Ці кути безпосередньо і є параметрами управління, тобто функціями, що слугують основою для одержання команди управління. У безплатформних системах стабілізації (БСС) зв'язок між інерційним і вимірювальним базисами виражається у процесі обчислень через параметри, які не можуть безпосередньо слугувати параметрами управління, тому теорія БСС містить методи одержання параметрів управління як функцій параметрів зв'язку, що обчислюються.

Специфіка БСС щодо математичного опису об'єкта стабілізації полягає в тому, що рівняння руху НС повинні бути записані через вимірювані датчиками параметри і через параметри зв'язку. Це спрощує замикання систем рівнянь стабілізації. І ще одна особливість теорії БСС – необхідність розроблення методів синтезу алгоритмів, що забезпечують обчислення параметрів зв'язку в реальному часі, а також аналізу системи помилок, що супроводжують ці обчислення.

Загалом розроблення БСС доцільно будувати таким чином, щоб, незважаючи на її специфіку,

математичний опис окремих частин системи дав би змогу під час вибору закону управління використовувати ефективні і добре розроблені загальні методи теорії автоматичного управління і, зокрема, методи, які застосовуються у платформних системах. Саме для цього необхідно визначити метод, що дає змогу одержати сигнали управління, які забезпечують роботу виконавчих органів систем орієнтації та стабілізації положенням НС.

Виклад основного матеріалу. Під час математичного опису БСС будемо використовувати системи координат: інерційну, зв'язану, зв'язану програмну, вимірювальну, швидкісну [4].

Інерційна система координат – прямокутна права система з початком у точці старту. Осі її нерухливі щодо світового простору. Перша вісь є дотичною до геоїда в момент старту, друга – вертикаллю у цей же момент. Позначення системи: початок $O_{\text{ін}}$, осі $X_{\text{ін}}$, $Y_{\text{ін}}$, $Z_{\text{ін}}$.

Зв'язана система координат – прямокутна права система з початком у центрі маси НС. Осі її збігаються з осями інерції та паралельні осям симетрії форми. Перша вісь збігається з поздовжньою віссю інерції, друга вісь паралельна головній площині симетрії НС. Позначення системи: початок O , осі X , Y , Z .

Зв'язана програмна система координат визначається так само, як і зв'язана, але замість поточного положення осей інерції розглядається їхнє програмне положення. Позначення системи: початок O , осі X^* , Y^* , Z^* .

Вимірювальна система координат може бути отримана поворотом зв'язаної системи щодо деякого центру, що не збігається з її початком. Позначення: початок O_1 , осі x_1 , y_1 , z_1 . Як правило зв'язана і вимірювальна системи збігаються.

Швидкісна система координат – прямокутна права система з початком у центрі маси НС. Перша її вісь збігається з вектором швидкості НС, друга перебуває у вертикальній площині, що проходить через першу вісь. Позначення системи: початок O , осі X_{ω} , Y_{ω} , Z_{ω} .

Параметри кутового положення. Відносне кутове положення систем координат за математичного опису БСС визначається за допомогою лінійного оператора, що являє собою квадратну матрицю виду

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

та має такі властивості:

$$\det A = 1, \quad A^T A = A A^T = E.$$

Перший індекс елемента a_{ij} належить до необертової (вихідної) системи, другий індекс – до поверненої системи, номер індексу відповідає номеру осі системи. Таким чином, якщо елементи оператора A задані, то відносне кутове положення двох систем визначене.

Геометрично дев'ятипараметричне сімейство a_{ij} являє собою косинуси кутів між відповідними осями розглянутих базисів.

Елементи оператора A позначаються в такий спосіб: μ_{ij} – для зв'язку вимірювальної системи з інерційною, μ_{ij}^* – для зв'язку швидкісної системи з інерційною, μ_{ij}^{ω} – для зв'язку вимірювальної та швидкісної систем.

Якщо розглядається зв'язана програмна система, то відповідними позначеннями елементів оператора A будуть μ_{ij}^* і μ_{ij}^{ω} .

З урахуванням уведених позначень стає очевидним співвідношення

$$\varepsilon = \lambda \cdot \mu^T \quad (1)$$

Напрямні косинуси a_{ij} можуть бути виражені через інші параметри обертання. У БСС практичне застосування знайшли два сімейства параметрів: трипараметричне сімейство, або кути Ейлера, і чотирипараметричне сімейство, або параметри Ейлера.

Кутами Ейлера звичайно називають кути, отримані в такий спосіб. Нехай задане початкове положення деякої прямокутної системи координат $x_0 y_0 z_0$ (рис. 1). Нове положення цієї системи можна одержати за допомогою трьох послідовних обертань:

- повороту навколо осі Z на кут Ейлера θ ;
- повороту навколо нового положення осі Y , позначеного Y' , на кут Ейлера ψ ;
- повороту навколо останнього положення осі X , позначеного X'' , на кут Ейлера γ .

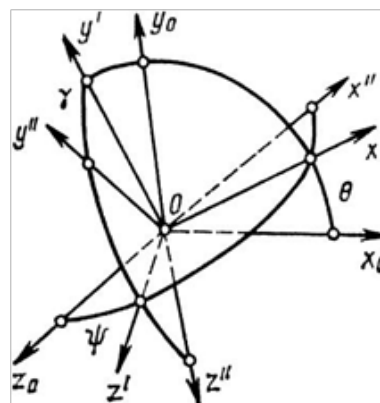


Рис. 1. Система координат для визначення кутів Ейлера

Матриці, що визначають праві обертання щодо позитивних напрямів зазначених вище осей, мають такий вигляд:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^3 & -\sin^3 \\ 0 & \sin^3 & \cos^3 \end{pmatrix}; A_2 = \begin{pmatrix} \cos\dot{E} & 0 & \sin\dot{E} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\dot{E} & 0 & \cos\dot{E} \end{pmatrix}; A_3 = \begin{pmatrix} \cos\blacklozenge & -\sin\blacklozenge & 0 \\ \sin\blacklozenge & \cos\blacklozenge & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матриця довільного повороту в тривимірному просторі $A(\Theta, \psi, \gamma)$ може бути отримана у вигляді добуток матриць A_i відповідно до числа можливих перестановок. Некомутативність матричного множення (у якій відбивається некомутативність кінцевих поворотів у тривимірному просторі) визначає неоднозначність системи кутів Ейлера. Далі буде використана матриця:

$$A(\Theta, \psi, \gamma) = A_3(\Theta)A_2(\psi)A_1(\gamma) \quad (3)$$

Кути Ейлера позначаються у такий спосіб:

- кути між інерційною і вимірювальною системами $A_2(\dot{E})A_1(\dot{\beta})$
- кути між інерційною і швидкісною системами $\blacklozenge_c, \dot{E}_c, \dot{\beta}_c$;
- кути між швидкісною і вимірювальною системами a, β, θ .

Якщо розглядається зв'язана програмна система, то відповідні кути позначаються $\blacklozenge_1^*, \dot{E}_1^*, \dot{\beta}_1^*, a^*, \beta^*$.

Чотирипараметричне сімейство Ейлера геометрично являє собою три напрямні косинуси, що визначають положення деякої довільної осі обертання щодо нерухливого базису і кут повороту рухливої системи щодо цієї осі. Зв'язок параметрів Ейлера з елементами a_{ij} визначається такими співвідношеннями:

$$A = \cos e_4 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + (1 - \cos e_4) \begin{pmatrix} e_1^2 & e_1e_2 & e_1e_3 \\ e_2e_1 & e_2^2 & e_2e_3 \\ e_3e_1 & e_3e_2 & e_3^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$+ \sin e_4 \begin{pmatrix} 0 & -e_3 & e_2 \\ e_3 & 0 & -e_1 \\ -e_2 & e_1 & 0 \end{pmatrix}$$

Або в неявній формі:

$$e_1 = \frac{a_{23} - a_{32}}{2\sin e_4}; e_2 = \frac{a_{31} - a_{13}}{2\sin e_4}; e_3 = \frac{a_{12} - a_{21}}{2\sin e_4}; \cos e_4 = \frac{1}{[\text{Tr}A - 1]},$$

$e_i (i = 1, 2, 3, 4)$ – параметри Ейлера.

Застосування співвідношень (4) для обчислень недоцільно через складність. Практично більш

вигідно використовувати симетричні нормовані параметри Ейлера-Родригеса, які позначаються $\varrho_i (i = 1, 2, 3, 4)$. Зв'язок між параметрами ϱ_i і e_i визначається формулами:

$$e_1 = \frac{\varrho_1}{\sqrt{1 - \varrho_4^2}}; e_2 = \frac{\varrho_2}{\sqrt{1 - \varrho_4^2}}; e_3 = \frac{\varrho_3}{\sqrt{1 - \varrho_4^2}};$$

$$e_4 = \arccos(2\varrho_4^2 - 1);$$

$$\varrho_1 = e_1 \sqrt{\frac{1 - \cos e_4}{2}}; \varrho_2 = e_2 \sqrt{\frac{1 - \cos e_4}{2}};$$

$$\varrho_3 = e_3 \sqrt{\frac{1 - \cos e_4}{2}}; \varrho_4 = \sqrt{\frac{1 + \cos e_4}{2}}$$

де використане співвідношення $\sum_{i=1}^4 \varrho_i^2 = 1$.

Параметри ϱ_i можуть розглядатися як дійсні коефіцієнти алгебри кватерніонів. Кватерніон, або гіперкомплексне число, може бути представлений у вигляді:

$$\varrho = \varrho_1 i + \varrho_2 j + \varrho_3 k + \varrho_4 = (\varrho_4 + i\varrho_1) + (\varrho_2 + i\varrho_3)j,$$

де ϱ_i – дійсні числа, а i, j, k – елементи кватерніонного базису, що підкоряються таким правилами множення:

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1; ki = -ik = j; jk = -kj = i; ij = -ji = k.$$

Визначивши пов'язаний кватерніон як $\varrho' = -\varrho_1 i - \varrho_2 j - \varrho_3 k + \varrho_4$, отримаємо:

$$|\varrho|^2 = \varrho' \varrho = \varrho \varrho' = \varrho_1^2 + \varrho_2^2 + \varrho_3^2 + \varrho_4^2 = 1;$$

$$\varrho^{-1} = \varrho'.$$

Зв'язок між напрямними косинусами λ_{ij} і параметрами ϱ_i визначається такими формулами:

$$\lambda_{11} = \varrho_1^2 - \varrho_2^2 - \varrho_3^2 + \varrho_4^2; \lambda_{12} = 2(\varrho_1\varrho_2 - \varrho_3\varrho_4);$$

$$\lambda_{13} = 2(\varrho_1\varrho_3 - \varrho_2\varrho_4);$$

$$\lambda_{21} = 2(\varrho_1\varrho_2 + \varrho_3\varrho_4); \lambda_{22} = -\varrho_1^2 + \varrho_2^2 - \varrho_3^2 + \varrho_4^2;$$

$$\lambda_{23} = 2(\varrho_2\varrho_3 - \varrho_1\varrho_4);$$

$$\lambda_{31} = 2(\varrho_1\varrho_3 + \varrho_2\varrho_4); \lambda_{32} = 2(\varrho_2\varrho_3 + \varrho_1\varrho_4);$$

$$\lambda_{33} = -\varrho_1^2 - \varrho_2^2 + \varrho_3^2 + \varrho_4^2; \quad (5)$$

$$\varrho_1 = \frac{1}{2}(1 + \lambda_{11} - \lambda_{22} - \lambda_{33})^{\frac{1}{2}};$$

$$\varrho_2 = \frac{1}{2}(1 - \lambda_{11} + \lambda_{22} - \lambda_{33})^{\frac{1}{2}};$$

$$\varrho_3 = \frac{1}{2}(1 - \lambda_{11} - \lambda_{22} - \lambda_{33})^{\frac{1}{2}};$$

$$\varrho_4 = \frac{1}{2}(1 + \lambda_{11} + \lambda_{22} + \lambda_{33})^{\frac{1}{2}}.$$

Під час представлення векторів і обертань роль ортонормованого кватерніонного базису можуть відіграти комплексні (2×2) матриці:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; S_2 = \begin{pmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{pmatrix}; S_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Якщо розглядати лінійні комбінації матриць виду E, iS_1, iS_2, iS_3 , то за дійсних коефіцієнтів $h_k \in \mathbb{R}$ одержимо алгебру кватерніонів за таких правил множення утворюючих:

$$S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = E; S_1 S_3 = -S_3 S_1 = iS_2;$$

$$S_2 S_3 = -S_3 S_2 = -S_1; S_1 S_2 = -S_2 S_1 = -iS_3.$$

Комплексні матриці найбільш ефективні за використання ще одного сімейства – двох комплексно-сполучених параметрів, які називають параметрами Келі-Клейна. Ці параметри виражаються через кути Ейлера, зумовлені матрицею виду

$$A(\vartheta, \nu, \varphi) = A_3(\varphi) A_2(\nu) A_1(\vartheta):$$

$$A(\vartheta, \nu, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos \frac{\nu}{2} & 0 & \sin \frac{\nu}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \frac{\nu}{2} & 0 & \cos \frac{\nu}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta & 0 \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Параметри Келі-Клейна утворюють унімодулярну матрицю (2X2)

$$U(\vartheta, \nu, \varphi) = \begin{pmatrix} a & b \\ -\bar{b} & \bar{a} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\text{де } a = e^{\frac{\vartheta + \varphi}{2}} \cos \frac{\nu}{2}; b = e^{\frac{\vartheta - \varphi}{2}} \sin \frac{\nu}{2}; |a|^2 + |b|^2 = 1$$

(a і b – параметри Келі-Клейна).

Таким чином, якщо задане кожне з описаних вище сімейств параметрів, відносно кутового положення двох систем координат у просторі визначене [4].

Первинна інформація про параметри кутового руху НС відповідно до законів механіки може бути отримана у вигляді прискорення точки установки вимірювального приладу або інтегралів цього прискорення. Оскільки проблема виміру – це проблема переважно технічна, то як джерела первинної інформації треба розглядати або реальні, або перспективні датчики. До таких належать датчики лінійних прискорень, датчики приросту лінійної швидкості, датчики кутової швидкості, датчики приросту кута і, нарешті, датчики кутів Ейлера. Необхідно відзначити, що на будь-якому об'єкті, що рухається, можна безпосередньо (без зв'язку з іншими тілами) виміряти лише прискорення. Усі інші величини, що знімаються з датчиків, являють собою інтеграли від прискорення. Винятком є ситуація, коли для виміру кутів Ейлера на борті фізично моделюється інерційна платформа. Тому з позицій загального компонування функціональної схеми

БСС, а також для зручності формування вимог із точності доцільно розбити її на три підкласи залежно від співвідношення величин, які безпосередньо вимірюються й обчислюються [4]:

– системи, де вимірюються тільки лінійні прискорення, а всі інші параметри обчислюються;

– системи, де вимірюються, крім лінійних параметрів, і кутові швидкості;

– системи, де вимірюються будь-які параметри, включаючи і кути Ейлера.

Система на основі датчиків лінійних прискорень.

Для того щоб обчислити параметри кутового положення НС, необхідно знати його кутову швидкість відносно інерційного базису, яка може бути задана трьома проекціями на осі цього базису або на осі вимірювальної системи. Остання форма завдання компонентів кутової швидкості є в БСС кращою, тому що виміри проводяться відносно цих осей. Збільшення кутової швидкості тіла відносно осей обертання може бути представлено як інтеграл відношення різниці прискорень двох різних точок цього тіла до відстані між ними:

$$\omega_{ik} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \frac{a_{1i} - a_{2i}}{l_i} dt,$$

де ω_{ik} – приріст кутової швидкості відносно i -ї осі на інтервалі $(t_k - t_{k-1})$; l_i – відстань між точками виміру прискорень; a_{ji} – вимірювані прискорення.

Оскільки величина l_i – постійна, то ω_{ik} пропорційна різниці показань акселерометрів з інтегральним виходом. Максимальна точність таких приладів характеризується помилкою близько 0,001% масштабного коефіцієнта [6]. Отже, помилка на одному такті обчислень кутової швидкості буде порядку 10^{-4} c^{-1} для плеча довжиною 1 м. За величини кроку дискретності 0,1 с помилка обчислень уже за 2–3 хвилини накопичується до величин, порівнянних із вимірюваними значеннями, що приводить до необхідності мати датчик із нестабільністю масштабного коефіцієнта не більше $10^{-6}\%$, на що розраховувати навіть у перспективі важко. Таким чином, система на основі одних датчиків лінійних прискорень поки представляє лише теоретичний інтерес.

Система на основі датчиків, що вимірюють кути Ейлера.

Як було зазначено вище, відлік кутів Ейлера проводиться від інерційного базису, тому його фізичне моделювання є неминучим. Однак у цьому разі на відміну від звичайних платформних систем моделюються тільки вимірювальні осі, а не платформа для розміщення датчиків лінійних прискорень. Таким чином, для одержання

інерційних компонентів вектора швидкості необхідні вимірювання, які здійснюються відносно зв'язаної системи координат, перераховувати до інерційного координатного базису (ІКБ).

Елементи a_{ij} оператора A обчислюються в такій системі на основі безпосередньо вимірюваних кутів Ейлера. Якщо початкова орієнтація вимірювальних осей гіроскопічної системи обрана так, щоб гіроскопічні кути збігалися з певною системою кутів Ейлера, то обчислення елементів a_{ij} можна робити за формулами (2) і (3). Порядок множення матриць A_i у цьому разі однозначно визначається вибором початкової орієнтації осей вимірювальної гіросистеми. Наприклад, якщо в початковий момент осі вимірювальної системи розташовані, як показано на рис. 2, то за використання матриці виду (3) одержуємо необхідні співвідношення:

$$\Theta 1r = \Theta 1; \quad E 1r = E 1; \quad {}^3 1r = {}^3 1; \quad (8)$$

де індексом «г» позначені гіроскопічні кути. Перевагою подібної системи порівняно з системами попереднього класу є економія обчислювальних ресурсів під час аналітичної побудови інерційного базису. Значним недоліком є обмеження максимальних кутів повороту і припустимих перевантажень через наявність вільних гіроскопічних систем на борті НС. Система з виміром кутів Ейлера може розглядатися як граничний варіант між платформним і безплатформним варіантами: за наявністю фізичних моделей ІКБ на борті цю систему можна віднести до категорії звичайних інерційних, а за характером розташування датчиків прискорення – до категорії безплатформних систем.

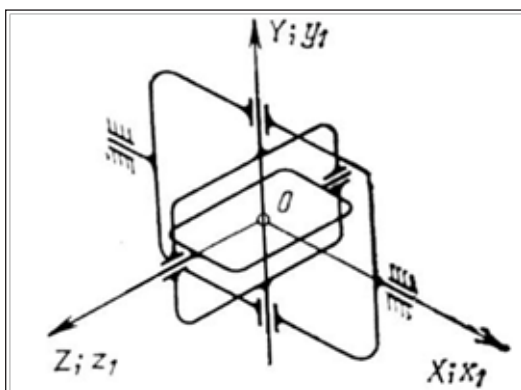


Рис. 2. Приклад розташування осей вимірювальної гіросистеми

Відзначений недолік системи з вільними гіроскопічними приладами на теперішньому етапі розвитку інерційних систем управління зводить до

мінімуму переваги БІС. Дійсно, порівняно з гіростабілізованою платформою зберігається перевага у забезпеченні надійності, а також у можливості використовувати датчик прискорення більших ваг і габаритів. Недоліком є необхідність мати на борті потужний обчислювач, що збільшує до того ж сумарну помилку побудови ІКБ.

Система з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.

Усі наявні і перспективні високоточні датчики лінійних прискорень і кутових швидкостей дають змогу одержувати інформацію тільки у вигляді приросту інтегралів від названих параметрів, тобто, по суті, є датчиками приросту лінійної швидкості і кутів обертання НС. Але такі параметри, як лінійне прискорення і кутова швидкість, мають набагато глибший фізичний зміст, ніж приріст їх інтегралів. Тому в цьому разі можна говорити про існування двох методів:

- будувати математичний апарат паралельно для безпосередньої та інтегральної форми знімання інформації з вимірювальної системи;

- під час розв'язку теоретичних питань вважати, що інформація про параметри руху доступна в дійсній розмірності останніх, а практично інтегральний її характер урахується під час розроблення конкретних алгоритмів побудови ІКБ.

Для обчислення параметрів руху НС необхідно знати вектор прискорення його центру маси і вектор кутової швидкості обертання біля центру маси. Таким чином, вимірювальна система повинна мати мінімум три датчики лінійних прискорень і три датчики кутової швидкості.

Висновки. Якщо виходити з відомого факту, що величини відходу сучасних гіроплатформ визначаються помилками датчиків кутової швидкості, то величина помилки в кутовому положенні ІКБ, що обчислюється, в ідеалі (тобто якщо до неї не додаються помилки обчислень) має той самий порядок, що і відхід стабілізованої гіроплатформи. Таким чином, у БІС, поряд із загальною для всіх інерційних систем проблемою зменшення дрейфу вимірювальної системи, з'являється проблема зменшення величини помилки обчислень за аналітичної побудови ІКБ. Відзначимо, що поява в БІС нової помилки – помилки обчислень – компенсується значно більшими потенційними можливостями зменшення дрейфу вимірювальної системи (порівняно з гіроінерційними системами) за рахунок більших можливостей зі збільшення маси і габаритів датчиків первинної інформації.

Тому під час побудови системи стабілізації НС для одержання керуючої інформації доцільно використовувати системи з виміром лінійних прискорень і кутової швидкості.

Список літератури:

1. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
2. Явися В.С. Способы управления пространственным положением наноспутника // Десята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій». Збірник тез. – К.: НТУУ «КПІ». – 2016. – С. 507–510.
3. Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
4. Лебедев Р.К. Стабилизация летательного аппарата бесплатформенной инерциальной системой. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
5. Гущин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2003 г. – 272 с.
6. Литвин М.А., Малюгина А.А., Миллер А.Б. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // Информационные процессы. – 2014. – Том 14. – № 4. – С. 326–339.

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОСПУТНИКА**

В статье исследуются методы получения сигналов управления исполнительными органами систем ориентации и стабилизации пространственного положения сверхмалых космических аппаратов. Традиционные методы оцениваются с точки зрения их практической реализуемости, а также с учетом ограничений на массо-габаритные показатели.

Ключевые слова: *бесплатформенная инерциальная система, сигнал управления, система ориентации и стабилизации, наноспутник.*

**ANALYSIS METHODS OF CONTROL SIGNALS
FOR ORIENTATION AND STABILIZATION SYSTEMS OF NANO-SATELLITES**

The scientific article is devoted to methods of producing the control signals by the executive bodies of orientation and stabilization systems attitude ultrasmall satellites. Traditional methods are evaluated in terms of their feasibility, as well as the restrictions on weight and overall performance.

Key words: *strapdown inertial system, a control signal, the system orientation and stabilization, nano-satellite.*

Новіков В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ЗБІЛЬШЕННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З НАДЛИШКОВОЮ КІЛЬКІСТЮ ВУЗЛІВ ПІД ЧАС СТЕЖЕННЯ ЗА ЦІЛЯМИ МОНІТОРИНГУ

Запропоновано метод збільшення часу життя безпроводної сенсорної мережі з надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу, який під час визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження враховує залишковий запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань.

Ключові слова: сенсорна мережа, маршрутизація, метрика.

Перспективність і актуальність використання технології бездротових сенсорних мереж (БСМ) для виконання завдань моніторингу та управління в таких галузях, таких як автоматизація підприємств, безпека, екологія, надзвичайні ситуації залучили до досліджень провідні наукові центри та лабораторії світу. До основних переваг технології БСМ належить можливість створення самоорганізованих мереж, які використовують дешеві мініатюрні автономні обчислювальні пристрої [1].

Однак існують проблеми, які перешкоджають масовому впровадженню рішень на базі БСМ. Одна з них – це необхідність збільшення часу автономної роботи безпроводної мережі. Оскільки живлення вузлів БСМ здійснюється від батарей обмеженої ємності, то завдання управління витратами енергоресурсу сенсорних вузлів є одним із основних. Для цього до складу системи управління БСМ [2] входить підсистема управління витратами енергоресурсу. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ.

Аналіз наукових результатів, отриманих у вибраній предметній галузі [3], показав, що наявні методи управління витратами енергоресурсів БСМ не враховують особливостей БСМ і тому не забезпечують максимізацію тривалості їх функціонування за виконання вимог до якості інформаційного обміну. У зв'язку з цим завдання розроблення нових та удосконалення наявних методів управління витратами енергоресурсів для використання в БСМ є актуальним на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводних телекомунікацій. У статті про-

понується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який забезпечує зменшення витрат енергії батарей сенсорних вузлів за рахунок оптимізації часу спостереження сенсорів за цілями моніторингу та використання динамічної маршрутизації, яка враховує поточний (залишковий) запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань.

Задано. Множина зон спостереження Z_j , множина сенсорів C_i та базова станція (БС) D в заданій координатній площі, $i, j = 1 \dots N$; побудована топологія сенсорної мережі.

Обмеження. Будь-який сенсор C_i може використовуватися як для спостереження за ціллю у зоні спостереження Z_j , так і для передачі (або ретрансляції) зібраних даних до БС. Кожен сенсор може одночасно спостерігати тільки за однією ціллю у зоні спостереження. Кожна ціль повинна спостерігатися деяким одним сенсором у будь-який час (безперервно). Розміщення сенсорів, цілей у зоні спостереження і БС квазістатичне.

Множина вимог до методу управління витратами енергоресурсу вузлів $\{V_q\}$, $q = \overline{1, 3}$ така: мінімальні витрати енергії батарей сенсорних вузлів; врахування розташування та кількості цілей у зонах спостереження; безперервний моніторинг зони спостереження.

Формалізація завдання. Введемо такі позначення:

D – базова станція, енергоресурс якої необмежений.

C_i , $i = \overline{1, n}$ – множина сенсорів і $n = |C|$.

Z_j , $j = \overline{1, m}$ – множина зон спостереження і $m = |Z|$.

$C(j)$, $j = 1, 2, \dots, m$ – множина сенсорів, здатних спостерігати за ціллю j у зоні спостереження Z_j .

$Z(i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – множина цілей, що знаходяться в межах зони моніторингу сенсорів i .

$N(i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – множина сусідів сенсора i .

E_i^0 – початковий енергетичний резерв сенсора i .

d_{iu} – відстань між сенсорами i та u , $i, u = 1, 2, \dots, n, D$.

$e^{Пл}, e^{Пр}$ – енергія, необхідна для передачі і прийому однієї одиниці даних відповідно.

e^M – енергія, що витрачається для моніторингу цілі у зоні спостереження за одиницю часу.

F – швидкість (частота) передачі даних, згерована сенсорами, що спостерігають за цілями.

t_{ij} – загальний час спостереження i -го сенсора за j -ою ціллю.

Відзначимо, що $C(i)$ може частково перетинатися з $C(j)$ для $i \uparrow j$ і $Z(i)$ може частково перетинатися з $Z(j)$ для $i \uparrow j$.

Необхідно: для заданих множин сенсорів C , цілей Z і базових станцій D знайти управляючий вплив $U_{\Pi}(t)$ (матрицю спостереження $|T|_{n \times m}$), що задовольняє введені обмеження та збільшує тривалість функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{БСМ}}$:

$$U_{\Pi}(t) = \arg \max T_{\Phi_{БСМ}}(C(t), Z(t), D(t)E^0(t), U_{\Pi}(t)),$$

$$\text{де } U_{\Pi}(t) = \{|T|_{n \times m}\}.$$

Тривалість функціонування сенсорної мережі – відрізок часу до моменту виснаження енергії всіх сенсорів в $C(j)$, поки існує ціль j або дані моніторингу не можуть бути передані до БС внаслідок незв'язності мережі.

Пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який має три етапи:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{БСМ}}$ та матриці спостереження $|T|_{n \times m}$, що визначає інтервал часу, протягом якого сенсори спостерігають за цілями у зонах спостереження).

2. Визначення сесій спостереження – розбиття матриці спостереження $|T|_{n \times m}$ на послідовність матриць (сесій) спостереження $T_{n \times m} = T_1 + T_2 + \dots + T_t$, які не зменшують отримане значення максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі та забезпечують виконання умови «один сенсор – одна ціль».

3. Визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження з урахуванням поточного (залишкового) запасу енергії вузлів і надійності безпроводних з'єднань.

Аналіз першого та другого етапів запропонованого методу проведено в [4; 5]. Розглянемо детальніше третій етап.

Облік надійності бездротового з'єднання

Численні дослідження характеристик малопотужних безпроводних каналів зв'язку показали, що в реальних системах спостерігається значна варіація та асиметрія якості зв'язку між вузлами. Тому під час пошуку маршрутів доставки пакетів необхідно аналізувати надійність з'єднань для обліку можливих додаткових витрат ресурсів мережі через втрати пакетів.

У стаціонарному режимі якість зв'язку між двома сусідніми вузлами v і w можна описати такими величинами:

$P_{Lx,vw}$ ймовірність бітової помилки під час передачі даних від вузла v до вузла w ;

$P_{Rx,vw}$ ймовірність бітової помилки під час прийому даних від вузла w вузлом v .

Вузол w аналогічним чином характеризує з'єднання з вузлом v . При цьому

$$P_{Lx,vw} = P_{Rx,vw} \quad (1.а)$$

але загалом

$$P_{Lx,vw} \neq P_{Rx,vw} \quad (1.б)$$

оскільки можлива асиметрія якості зв'язку.

Припустимо, що на фізичному рівні використовується пакетна передача даних і залежність ймовірності успішної передачі (прийому) пакета від ймовірності бітової помилки β описується функцією $\Psi(\beta, L)$, де L – довжина пакета (байт). Наприклад, за відсутності спеціального кодування двійкових символів функція $\Psi(\beta, L)$ має вигляд

$$\Psi(\beta, L) = (1 - \beta)^{8L}. \quad (2)$$

Вважаємо також, що використовується схема передачі пакетів із підтвердженням успішного прийому, яка застосовується у більшості протоколів доступу до середовища в безпроводних системах для підвищення надійності з'єднань. Пакет даних вважається успішно доставленим, якщо він був прийнятий вузлом-одержувачем без помилок і вузол-відправник отримав відповідний пакет підтвердження без помилок, тому під час передачі пакета даних від v до w ймовірність його втрати p_l рівнює

$$p_l = 1 - \Psi(\beta_{Lx,vw}, L_d) \Psi(\beta_{Lx,vw}, L_a), \quad (3)$$

де L_d L_a розмір пакета даних та пакета підтвердження.

Ймовірність виконання рівно k спроб доставки пакета даних дорівнює

$$Pr\{X = k\} = \begin{cases} p_l^{k-1} (1 - p_l) npr & 1 \leq k < N \\ p_l^{k-1} npr & k = N, \end{cases} \quad (4)$$

де N – максимально допустима кількість спроб.

Тоді математичне сподівання кількості переданих пакетів даних дорівнює

$$\mu_d = \sum_{k=1}^N k Pr\{X = k\} = \frac{1 - p_l^N}{1 - p_l}, \quad (5)$$

але для спрощення подальших розрахунків будемо розглядати граничну ситуацію $N \rightarrow \infty$, тому середня кількість пакетів даних, переданих у межах однієї транзакції, дорівнює

$$\mu_{d,vw} = \frac{1}{\Psi(\beta_{tx,vw}, L_d) \Psi(\beta_{rx,vw}, L_d)}. \quad (6)$$

На кожен прийнятий без помилок пакет даних вузол-одержувач відправляє пакет підтвердження. Отже, математичне сподівання кількості переданих пакетів підтвердження дорівнює

$$\mu_{a,vw} = \mu_{d,vw} \Psi(\beta_{tx,vw}, L_d) = \frac{1}{\Psi(\beta_{rx,vw}, L_d)}. \quad (7)$$

Пропонується використати метрику вартості з'єднання, яка визначається як сумарне очікувана кількість пакетів даних і пакетів підтвердження, переданих у межах однієї транзакції доставки даних між двома сусідніми вузлами, тобто

$$M_{ETTX}(v, w) = \mu_{d,vw} + \mu_{a,vw}. \quad (8)$$

Очевидно, що на практиці невідомі точні значення ймовірностей бітової помилки $\beta_{tx,vw}$ $\beta_{rx,vw}$ тому під час розрахунку метрики «очікувана загальна кількість передач» (8) використовуємо їх оцінки $\hat{\beta}_{tx,vw}$ $\hat{\beta}_{rx,vw}$. Як правило, в оперативному режимі якість зв'язку оцінюється за допомогою сигнальних пакетів, тому

$$\hat{\beta}_{tx,vw} = \Psi^{-1}(\hat{p}_{tx,vw}, L_p) \text{ і } \hat{\beta}_{rx,vw} = \Psi^{-1}(\hat{p}_{rx,vw}, L_p), \quad (9)$$

де $\hat{p}_{tx,vw}$ $\hat{p}_{rx,vw}$ оцінки ймовірностей успішних передач і прийому сигнальних пакетів.

Таким чином, метрика «очікувана загальна кількість передач» має вигляд

$$M_{ETTX}(v, w) = \frac{1 + \Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d)}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)}. \quad (10)$$

Динамічне балансування мережевого навантаження

У більшості безпроводних мереж виконується мінімізація витрат ресурсів для кожного окремого маршруту, але такий підхід може призводити до нерівномірного розподілу мережевого навантаження між вузлами мережі. Тому для забезпечення тривалого часу життя мережі необхідно виконувати балансування навантаження, тобто перерозподіл потоків трафіку між вузлами для більш рівномірного використання їх енергії. Для наближеного розв'язання задачі оптимізації часу життя мережі пропонується використовувати вагову функцію під час вибору наступної ланки на шляху доставки пакета даних точці збору.

Припустимо, що всі вузли однотипні і кожному з них для прийому одного пакета даних потрібна енергія $e_{rx,d}$ ж, а для передачі пакета підтвердження – $e_{tx,a}$ ж. Ці значення можуть бути визначені з моделі енергоспоживання вузла, складеної відповідно до протоколу множинного доступу до середовища і параметрів апаратної реалізації вузлів.

Тоді під час доставки пакета даних від вузла v до сусіднього вузла w очікувані загальні витрати енергії приймаючого вузла w становитимуть

$$e(v, w) = \frac{e_{rx,d}}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)} + \frac{e_{tx,a}}{\Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)} \quad (11)$$

$$= \frac{e_{rx,d} + e_{tx,a} \Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d)}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)}, \text{ Дж}$$

Для реалізації метрики з балансуванням навантаження пропонується використовувати функцію вартості переходу такого вигляду:

$$C_{ERC}(v, w) = \frac{e(v, w)}{E(w)}, \quad (12)$$

де $E(w)$ поточний запас енергії вузла w , Дж.

Фізичний зміст формули (12) полягає в тому, що відношення $E(w) / e(v, w)$ можна розглядати як нормовану до величини $e(v, w)$ залишкову ємність джерела живлення вузла w або як кількість транзакцій з витратами $e(v, w)$ які можуть бути виконані за наявності кількості енергії $E(w)$. Вартість переходу визначена як зворотна величина до $E(w) / e(v, w)$ тобто чим більше у вузла w залишилося енергетичних ресурсів, тим менша вартість переходу.

Однак функція (12) має недолік із позиції практичної реалізації, який полягає в тому, що необхідно оцінювати поточний запас енергії вузла в абсолютних величинах (Дж), тому потрібний облік властивостей джерела живлення (наприклад, характеристика розряду автономного елемента живлення), що часто є нетривіальним завданням. Тому пропонується перейти в (12) до відносних величин і задати вартість «очікувана залишкова ємність» (Expectedresidualcapacity) переходу у вигляді такого виразу:

$$(13)$$

де $\bar{E}(w)$ нормована величина залишкового запасу енергії вузла w ; $N(v)$ – множина сусідів вузла v , що знаходяться на меншій відстані до точки збору, ніж v .

Результати моделювання

Імітаційне моделювання було виконане для каналу зв'язку, модель якого враховує значну варіацію та асиметрію якості зв'язку, що дає більш

наближену до реальних умов експлуатації оцінку ефективності маршрутизації.

У таблиці 1 наведені значення параметрів середовища поширення радіосигналів і характеристик приймачів, використані під час імітаційного моделювання. Безумовно, вказані значення параметрів не є єдиними можливими, але вони прийняті як типові на основі технічної документації на найбільш поширений приймач стандарту IEEE 802.15.4 CC2420 виробництва компанії Texas Instruments.

Для кожного екземпляру мережі проводилася серія з 10 випробувань з випадковими початковими умовами, але для різних сполучень значень n , ρ і D було використано по 10 випадкових топологій. Для наочності на наведених нижче графіках вказані тільки середні значення без меж довірчих інтервалів, при цьому обсяг вибірки для кожного набору параметрів становить порядку 10^5 маршрутів.

Таблиця 1

Прийняті під час моделювання параметри середовища поширення радіосигналів і приймачів-передавачів вузлів

Параметр	Значення
Еталонна відстань d_0	1 м
Загасання на еталонній відстані $PL(d_0)$	55 дБ
Показник ступеня втрат у тракті α	3
Середньоквадратичне відхилення α_{ch}	3 дБ
Коефіцієнти анізотропії втрат $K_i (i=(0:359))$	1
Загасання через перешкоди між вузлами Ω_{vw} для $\forall v, w \in V$	0 дБ
Середня вихідна потужність передавача P_t	0 дБм
Середній рівень шуму приймача P_n	-95,5 дБм
Дисперсія	3 дБ2
Дисперсія	3 дБ2
Коваріація $cov(P_n, P_n)$	-2 дБ2

Порівняння запропонованих метрик вартості з'єднання і переходу виконано для типу трафіку «багато-до-одного», за якого різниця між різними метриками більш чітко виражена, ніж за трафіку «багато-до-багатьох». Тип трафіку «багато-до-одного», за якого всі пристрої мережі передають пакети в одну точку збору (базова станція, шлюз, концентратор і т. д.), характерний для багатьох завдань розподіленого збору інформації (наприклад, системи моніторингу), тому оцінка ефективності та вдосконалення механізмів маршрутизації в цьому режимі має важливе практичне значення.

Дослідження ефективності маршрутизації виконано для такого сценарію роботи мережі. Один із вузлів мережі (стік) призначається точкою збору і має необмежене джерело енергії (стаціонарне живлення), при цьому положення точки збору на площі покриття мережі є випадковим, інші вузли є кінцевими пристроями з автономними джерелами живлення однакової ємності (наприклад, батареї). Після включення і первинної конфігурації мережі (виявлення сусідів, оцінки стану каналу і т. д.) кінцеві вузли починають періодичну передачу пакетів даних моніторингу в точку збору. Мережа функціонує до тих пір, поки один із вузлів не вийде з ладу через виснаження джерела енергії. Інші параметри моделювання вказані в таблиці 2.

Таблиця 2

Прийняті під час моделювання параметри енергоспоживання і довжини пакетів

Параметр	Значення
Початковий запас енергії $E(0)$	105
Коефіцієнт k_e (за замовчуванням)	1
Довжина пакетів даних L_d (за замовчуванням)	75 байт
Довжина широкоповних сигнальних пакетів L_p	L_d
Довжина пакетів підтвердження L_a	11 байт

На рис. 1 наведено значення показників ефективності маршрутизації за таких поєднань відомих і запропонованих метрик вартості з'єднання і переходу:

– «Const – Const» – метрика вартості з'єднання M_{const} і метрика вартості переходу C_{const} , тобто «класичний» варіант, за якого оптимальним є маршрути із мінімальною кількістю проміжних вузлів і показники надійності з'єднань ніяк не враховуються;

– «METX – METX» – для оцінки вартості з'єднання і переходу використовується відома модифікована метрика «очікувана кількість передач»;

– «ETTX – ETTX» – для оцінки вартості з'єднання і переходу використовується запропонована метрика «очікувана загальна кількість передач»;

– « C_{const} – ERC» – з'єднанням присвоюється постійна вартість, але використовується динамічне балансування мережного навантаження за допомогою метрики вартості переходу «очікувана залишкова ємність» C_{ERC} ;

– «ETTX – ERC» – під час пошуку маршрутів враховується якість зв'язку за допомогою

метрики «очікувана загальна кількість передач» M_{ETTX} а також виконується динамічне балансування мережного навантаження метрикою C_{ERC} .

У перших трьох варіантах виконується вирішення задачі пошуку оптимальних маршрутів, а в останніх двох застосовується локальне балансування мережевого навантаження з метою збільшення часу життя мережі.

Якщо під час оцінки вартості з'єднання якості зв'язку ніяк не враховується, то знайдені маршрути проходять через найменшу кількість проміжних вузлів – ретрансляторів (див. графіки для «Const – Const» і «Const – ERC» на рис. 1а), але за наявності втрат пакетів цей підхід призводить до низької ефективності маршрутизації, оскільки знайдений шлях може бути коротким, але складатися зі сполук із низькою надійністю, що призведе до додаткових витрат. Сказане наочно демонструє нормована величина латентності маршруту (рис. 1б),

в якій враховуються витрати часу на повторні передачі пакетів через їх можливі втрати. Видно також, що метрики M_{METX} та M_{ETTX} забезпечують приблизно однакову затримку доставки пакета даних, при цьому тип метрики вартості переходу не має істотного значення.

За відносним енергоспоживанням вузла η_{EC} сі метрики зіставні, крім варіанту «ETTX – ERC», за якого балансування мережного навантаження збільшує термін служби мережі, тому вузли встигають виробити трохи більшу частину вихідного запасу енергії.

Метрики M_{METX} та M_{ETTX} мають однакову ефективність щодо енергії і трафіку, а застосування балансування навантаження знижує значення показників η_{EE} а η_{TE} оскільки в цьому разі мета полягає в максимізації часу життя мережі у збиток оптимальності окремих маршрутів. Як видно на рис. 1е, ця задача цілком успішно вирішується,

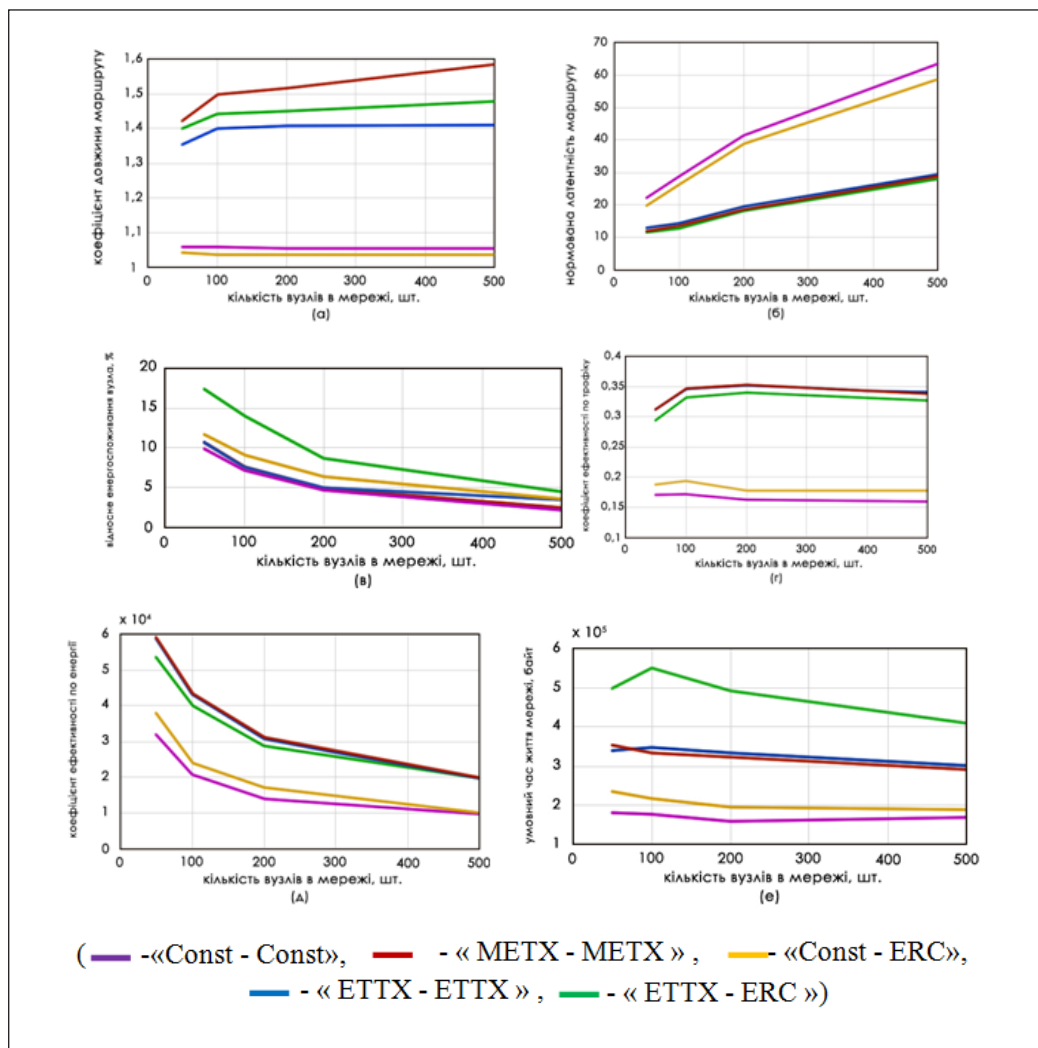


Рис. 1. Метрики вартості з'єднання і переходу

оскільки термін служби мережі збільшується в середньому у 2,9 раза порівняно з найбільш простим варіантом пошуку маршруту. Зауважимо, що якщо використовуються метрики вартості з'єднань M_{METX} та M_{ETTX} , то динамічний розподіл потоків трафіку збільшує термін служби мережі приблизно в 1,5 раза порівняно з результатом пошуку оптимальних маршрутів, хоча при цьому коефіцієнти ефективності щодо енергії і трафіку знижуються набагато меншою мірою (в середньому на 5,1% і 4,5% відповідно).

Для вирішення завдання максимізації часу життя сенсорної мережі запропоновано новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ. Для визначення маршрутів

передачі зібраної інформації за сесіями спостереження запропоновано два нові види метрик, які враховують поточний (залишковий) запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань. Перша метрика може бути використана окремо для вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів. У цій метриці застосовуються функції вартості переходу, в яких враховується інформація про якість зв'язку. Друга метрика в поєднанні з першою додатково враховує залишкові запаси енергії вузлів для динамічного балансування мережевого навантаження між ними. Розроблені метрики можуть бути успішно використані в БСМ із надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу для вирішення завдання збільшення часу життя мережі.

Список літератури:

1. Бунин С.Г., Войтер А.П., Ильченко М.Е., Романюк В.А. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. К.: НПП «Издательство «Наукова думка» НАН Украины». – 2012. – 444 с.
2. Лисенко О.І. Функціональна модель системи управління безпроводною сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О.І. Лисенко, К.С. Козелкова, В.І. Новіков, Т.О. Прищепа, А.В. Романюк // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10. – С. 222–225.
3. Коваленко І.Г. Аналіз методів енергозбереження в сенсорних радіомережах / І.Г. Коваленко, В.А. Романюк, І.М. Діянчук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 1. – С. 76–84.
4. Лисенко О.І. Енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження безпроводових сенсорних мереж / О.І. Лисенко, В.І. Новіков // Збірник матеріалів конференції «Проблеми телекомунікацій». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 395–398.
5. Жук О.В. Оцінка ефективності методики моніторингу цілей в безпроводній сенсорній мережі тактичної ланки управління / О.В. Жук, В.А. Романюк, О.Я. Сова // Труды Академії. – 2008. – № 7 (87). – С. 154–162.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ИЗБЫТОЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ УЗЛОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ЦЕЛЯМИ МОНИТОРИНГА

Предложен метод повышения времени функционирования беспроводной сенсорной сети с избыточным количеством узлов при слежении за целями мониторинга, который при определении маршрутов передачи собранной информации за сессиями наблюдения учитывает остаточный запас энергии узлов и надежность беспроводных соединений.

Ключевые слова: сенсорная сеть, маршрутизация, метрика.

A METHOD TO INCREASE THE TIME OF OPERATION OF A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH AN EXCESSIVE NUMBER OF NODES WHILE TRACKING THE TARGETS

Proposed a method to increase the time of operation of a wireless sensor network with an excessive number of nodes while tracking the targets, which in determining the transmission routes of the collected information for the monitoring sessions takes into account the residual energy of the nodes and the reliability of the wireless connections.

Key words: sensory network, routing, metric.

Распопов В.Б.

Науково-навчальний центр прикладної інформатики
Національної академії наук України

ІНЖЕНЕРНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО БЛОКУ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГА

У статті розглядаються теоретичні аспекти використання методів математичного моделювання, оптимізації і планування експерименту для налаштування технологічних параметрів на виробництві. Стаття має на меті зацікавити майбутніх дослідників – юних програмістів МАН, академічно обдаровану студентську молодь, стажерів та аспірантів НДІ НАН України – задачами інженерного проектування, практикою реалізації і використання експертних систем.

Ключові слова: моделювання, оптимізація, планування технологічного експерименту.

Вступ. Налагодження технологічного процесу на виробництві часто буває ускладненим необхідністю експериментально налаштувати певні технологічні параметри так, щоб вони мали «оптимальні» значення. Такими параметрами можуть бути температура процесу, інтервал часу обробки, концентрація компонентів суміші тощо. Зазвичай цією експериментальною дослідницькою роботою на великому виробництві займається інженер-технолог або навіть кваліфікована група фахівців технологічної лабораторії, які застосовують певні математичні методи і комп'ютерні програми для оптимального планування технологічного експерименту. Причому чим тривалішим або чим дорожчим є випуск одиниці продукції, тим більше уваги приділяється науковому обґрунтуванню того, якими саме мають бути ті чи інші технологічні параметри виробничого процесу.

На невеликому підприємстві коштів на науково обґрунтований підбір технологічних параметрів зазвичай бракує. Власнику невеликого підприємства у подібних ситуаціях допоможе експертна система технолога. До її розроблення запрошуються аспіранти, студенти-дипломники і стажери Науково-навчального центру прикладної інформатики НАН України, які спеціалізуються з прикладної математики і програмування.

Необхідним складником кожної сучасної експертної системи (ЕС) є модуль математичного моделювання, за допомогою якого ЕС здійснює прогноз і надає конкретні рекомендації користувачу ЕС щодо вибору значень тих чи інших параметрів, які цікавлять фахівця.

Пояснимо сказане на простому прикладі. Власник міні-пекарні, яка виробляє кондитерські вироби, зацікавлений у тому, аби підібрати такий рецепт суміші для тіста, щоб пиріжки були смачнішими, ніж у конкурентів, і тому добре продавалися. Допомогу технологу може надати комп'ютерна експертна система: вона спрямує пошук оптимальної суміші для тіста і в діалоговому режимі порадить йому, як за мінімальну кількість експериментальних випічок тіста підібрати найкращу концентрацію цукру, жирів, дріжджів, молока, яєць тощо у кондитерській суміші.

Математична постановка задачі. Продовжимо розгляд прикладу. Формалізуємо задачу. Нехай якість випічки характеризується певною математичною функцією $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де $\{x_i\}$, $1 \leq i \leq n$ – це концентрації інгредієнтів суміші для тіста. Значеннями y можуть слугувати або об'єктивні числові величини, наприклад, денна виручка з продажу, або певна суб'єктивна експертна оцінка кінцевої якості продукції, наприклад, «смачність випічки», оцінена групою експертів-дегустаторів. Математична задача полягає у тому, щоби, поступово змінюючи концентрації інгредієнтів (а також підбираючи технологічні параметри бродіння тіста, температурні параметри його випічки тощо), максимізувати значення функції якості $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Приклад 1. Для подальшого аналізу задачі та наочності пояснень припустимо, що функція якості (наприклад, смачність випічки) є однопараметричною, тобто $n = 1$, $x = x_1$, $y = f(x)$, і є опуклою, тобто поблизу екстремуму функцію $y = f(x)$ можна наблизити (апроксимувати, «замінити») параболою $y = Ax^2 + Bx + C$ [1; 2].

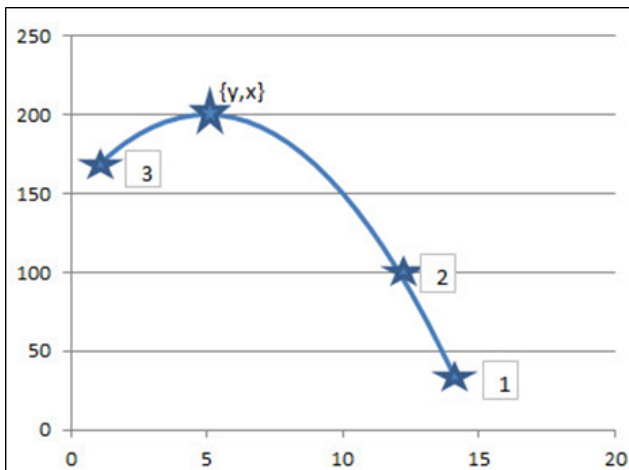


Рис. 1. Модель функції якості в околі екстремуму $y = f(x)$ – це парабола $y = Ax^2 + Bx + C$

Розв'язок задачі. Параметри цієї параболи – коефіцієнти A, B, C – є невідомими, але можуть бути обчислені за фіксації результатів трьох технологічних експериментів $(y_1, x_1), (y_2, x_2), (y_3, x_3)$, тобто щоби встановити, якими є значення параметрів A, B, C , ми маємо знайти розв'язок такої системи трьох рівнянь, лінійних відносно коефіцієнтів A, B, C :

$$\begin{cases} y_1 = Ax_1^2 + Bx_1 + C \\ y_2 = Ax_2^2 + Bx_2 + C \\ y_3 = Ax_3^2 + Bx_3 + C \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} (x_1^2)A + (x_1)B + C = y_1 \\ (x_2^2)A + (x_2)B + C = y_2 \\ (x_3^2)A + (x_3)B + C = y_3 \end{cases}$$

Використаємо метод Крамера, щоби знайти невідомі значення коефіцієнтів A, B, C :

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_A = \begin{vmatrix} y_1 & x_1 & 1 \\ y_2 & x_2 & 1 \\ y_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_B = \begin{vmatrix} x_1^2 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & y_3 & 1 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_C = \begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 & x_2 & y_2 \\ x_3^2 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta}; \quad B = \frac{\Delta_B}{\Delta}; \quad C = \frac{\Delta_C}{\Delta}.$$

Знайдені коефіцієнти A, B, C дають змогу обчислити (тобто «спрогнозувати») екстремальні значення параболи: (y_0, x_0) ,

$$x_0 = \frac{-B}{2A}, \quad y_0 = Ax_0^2 + Bx_0 + C.$$

Таким чином, практичні рекомендації для інженера-технолога або для власника виробництва, який довірятиме порадам цієї експертної системи технолога, такі: потрібно провести наступний технологічний експеримент при $x = x_0$, і якщо його результат $y_{\text{експеримент}}$ збігається (або майже збігається, в межах похибки) із прогнозованим значенням y_0 , то найкращий результат x_0 вже знайдено.

Мірою досягнення результату – тобто похибкою d – може слугувати така формула:

$$d = |y_0 - y_{\text{експеримент}}|.$$

Якщо похибка d , на думку інженера-технолога, ще є досить великою, експериментальний пошук екстремуму має бути продовжено. А саме, результати трьох останніх експериментів $(y_2, x_2), (y_3, x_3), (y_{\text{експеримент}}, x_0)$ варто перепозначити так: $x_1 = x_2, y_1 = y_2$; $x_2 = x_3, y_2 = y_3$; $x_3 = x_0, y_3 = y_{\text{експеримент}}$, щоби можна було заново обрахувати коефіцієнти A, B, C за наведеними вище математичними формулами, а потім ще раз «спрогнозувати» оновлені екстремальні значення параболи – точку з координатами (y_0, x_0) – і з новим значенням $x_0 = \frac{-B}{2A}$ провести наступний технологічний експеримент, щоби експериментально з'ясувати значення величини $y_{\text{експеримент}}$, і т. д.

Програмна реалізація методу. Метод, описаний вище, можна реалізувати програмно більшістю мов програмування. Наприклад, код програми для «хмарних обчислень», написаний мовою PHP, наведено в [1].

```
public function masive_generate()
{
    $this->load->helper('url');
    $x1 = $this->input->post('x1'); $f1 = $this->input->post('f1');
    $x2 = $this->input->post('x2'); $f2 = $this->input->post('f2');
    $x3 = $this->input->post('x3'); $f3 = $this->input->post('f3');
    $masiv_matrix = array(
        array ( array ($x1 * $x1, $x1, 1),
                array ($x2 * $x2, $x2, 1),
                array ($x3 * $x3, $x3, 1), ),
        array ( array ($f1, $x1, 1),
                array ($f2, $x2, 1),
                array ($f3, $x3, 1), ),
        array ( array ($x1 * $x1, $f1, 1),
                array ($x2 * $x2, $f2, 1),
                array ($x3 * $x3, $f3, 1), ),
        array ( array ($x1 * $x1, $x1, $f1),
                array ($x2 * $x2, $x2, $f2),
                array ($x3 * $x3, $x3, $f3), ) );
    for($i = 0; $i <= 3; $i++)
    { $det[] =
($masiv_matrix[$i][0][0] * $masiv_matrix[$i][1][1] * $masiv_matrix[$i][2][2]
+
$masiv_matrix[$i][0][1] * $masiv_matrix[$i][1][2] * $masiv_matrix[$i][2][0]
+
$masiv_matrix[$i][0][2] * $masiv_matrix[$i][1][0] * $masiv_matrix[$i][2][1]
-
$masiv_matrix[$i][0][2] * $masiv_matrix[$i][1][1] * $masiv_matrix[$i][2][0]
-
$masiv_matrix[$i][0][0] * $masiv_matrix[$i][1][2] * $masiv_matrix[$i][2][1]
-
$masiv_matrix[$i][0][1] *
```

```
Smasiv_matrix[Sij][1][0]*Smasiv_matrix[Sij][2][2])
if (Sdet[0] != 0)
{ Sa = Sdet[1]/Sdet[0];
  Sb = Sdet[2]/Sdet[0];
  Sc = Sdet[3]/Sdet[0];
  echo "<p>
<img src='img a.png' style='vertical-align: middle/'>".Sa."<br>
<img src='img b.png' style='vertical-align: middle/'>".Sb."<br>
<img src='img c.png' style='vertical-align: middle/'>".Sc."</p>";
  if (Sa != 0){
    Sx = ((-1)*(Sb))/(2*Sa);
    Sy = Sa*(Sx*Sx) + Sb*Sx + Sc;
  }
  echo "<h3>Строгеновані значення наведені нижче</h3>";
  echo "<img src='img x-change.png' style='vertical-align: middle/'>".Sx;
  echo "<img src='img y-change.png' style='vertical-align: middle/'>".Sy;
  } else { echo "<h1> a = 0 Message: Division by zero</h1>"; }
  echo "<a href='http://experiment.ho.ua/'>Вести нові
дані</a></div>"; }
else { echo "Determ is 0 <br><h1>Message: Division by zero</h1>"; }
```

Зауваження. У тому разі, коли функція $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ є двопараметричною, тобто $y = f(x_1, x_2)$, але між параметрами x_1 і x_2 існує певна математична залежність, наприклад $x_1 + x_2 = Q$, можна ввести позначення $t = \frac{x_1}{x_2}$, яке змістовно інтерпретується як частка або як процентне співвідношення між двома компонентами суміші. Тоді двопараметрична оптимізаційна задача спрощується: досліджуємо однопараметричну модель $y = f(t)$. Наприклад, експериментально встановлено, що максимізація виходу продукту бродиння розчину цукру в воді буде за $t = 0,25$.

Приклад 2. Пояснимо суть узагальнення методу на прикладі експериментального пошуку екстремуму двопараметричної функції $y = f(x_1, x_2)$, $n = 2$.

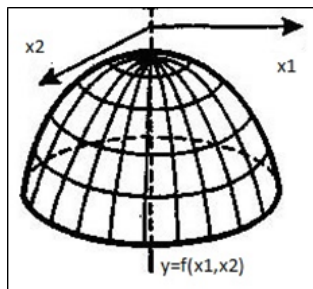


Рис. 1. Наближення функції якості в околі екстремуму параболоїдом

$$y = Ax_1^2 + Bx_1 + C + Dx_2^2 + Ex_2 + Fx_1x_2$$

$$y = Ax_1^2 + Bx_1 + C + Dx_2^2 + Ex_2 + Fx_1x_2$$

Числові параметри параболоїда – коефіцієнти A, B, C, D, E, F – є невідомими, але їх значення можуть бути обчислені, якщо відомі результати шести технологічних експериментів (y_1, x_{11}, x_{21}) ,

(y_2, x_{12}, x_{22}) , (y_3, x_{13}, x_{23}) , (y_4, x_{14}, x_{24}) , (y_5, x_{15}, x_{25}) , (y_6, x_{16}, x_{26}) , тут другий індекс j позначення x_{ij} вказує на номер експерименту.

Щоби встановити, якими є значення параметрів A, B, C, D, E, F , можна скористатися методами лінійної алгебри. Потрібно знайти розв'язок системи з шести лінійних рівнянь відносно шести невідомих коефіцієнтів A, B, C, D, E, F :

$$\begin{aligned} A(x_{11}^2) + B(x_{11}) + C + D(x_{21}^2) + E(x_{21}) + F(x_{11}x_{21}) &= y_1 \\ A(x_{12}^2) + B(x_{12}) + C + D(x_{22}^2) + E(x_{22}) + F(x_{12}x_{22}) &= y_2 \\ A(x_{13}^2) + B(x_{13}) + C + D(x_{23}^2) + E(x_{23}) + F(x_{13}x_{23}) &= y_3 \\ A(x_{14}^2) + B(x_{14}) + C + D(x_{24}^2) + E(x_{24}) + F(x_{14}x_{24}) &= y_4 \\ A(x_{15}^2) + B(x_{15}) + C + D(x_{25}^2) + E(x_{25}) + F(x_{15}x_{25}) &= y_5 \\ A(x_{16}^2) + B(x_{16}) + C + D(x_{26}^2) + E(x_{26}) + F(x_{16}x_{26}) &= y_6 \end{aligned}$$

Після того, як значення A, B, C, D, E, F знайдені, скористаємося необхідними умовами екстремуму неперервної функції, щоб обчислити координати (y_0, x_{10}, x_{20}) точки екстремуму параболоїда $y = Ax_1^2 + Bx_1 + C + Dx_2^2 + Ex_2 + Fx_1x_2$, а саме

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = 0$$

або

$$\begin{cases} 2Ax_1 + Fx_2 = -B \\ 2Dx_2 + Fx_1 = -E \end{cases}$$

Розв'язок цієї системи, позначений (x_{10}, x_{20}) , дасть нам змогу обчислити значення $y_0 = Ax_{10}^2 + Bx_{10} + C + Dx_{20}^2 + Ex_{20} + Fx_{10}x_{20}$.

Практичні рекомендації для інженера-технолога (або для власника виробництва, який довіряє порадам експертної системи технолога) аналогічні тим, які були описані вище в прикладі 1: потрібно провести ще один технологічний експеримент за $x_1 = x_{10}$, $x_2 = x_{20}$, і якщо результат експерименту $y_{експеримент}$ збігається (або «майже збігається» в межах припустимої похибки) із прогнозованим значенням y_0 , то найкращий результат $\{x_{10}, x_{20}\}$ знайдено.

Мірою досягнення результату – тобто похибкою d – може бути така формула:

$$d = |y_0 - y_{експеримент}|$$

Якщо похибка d , на думку інженера-технолога, ще є досить великою, експериментальний пошук екстремуму має бути продовжено.

Зауваження щодо модифікацій методу. На відміну від попередніх рекомендацій (щодо допустимої межі відхилення d і перепозначення точок x_{ij} , які враховуватимуться на наступному кроці

алгоритму побудови параболоїду, див. приклад 1), можна скористатися регресійним моделюванням, суть якого полягає в тому, щоб обчислювати нові значення параметрів A, B, C, D, E, F параболоїда на підставі всіх без винятку результатів попередніх експериментів, використовуючи для цього метод найменших квадратів (МНК). Можливі й інші підходи, які базуються на застосуванні критерію Чебишева або на евристиці. Наприклад, із числа всіх попередніх експериментів для подальших розрахунків залишимо тільки ті шість, які забезпечили найкращий прогноз значення y_0 . Тобто під час програмної реалізації математичного блоку експертної системи технолога програміст може спиратися і на евристику, розуміючи при цьому, що досліджувана математична модель функції $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ у вигляді параболи або у вигляді параболоїду є лише певним математичним припущенням формалізованої задачі.

Узагальнення методу. Експериментальний пошук екстремуму багатопараметричної функції $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для $n \geq 2$ вимагає проведення ще складніших обчислень. Розробнику ЕС також знадобляться певні теоретичні і практичні знання з чисельних методів оптимізації, про які не йдеться в цій статті. Математичні методи планування експерименту – це прикладна (тобто інженерна) навчальна дисципліна, яка базується на методах оптимізації і на статистичних методах оцінювання. Розроблені фахівцями математичні методи планування експерименту дають змогу науково обґрунтувати і практично спланувати в умовах неповної інформації експериментальний пошук екстремуму стохастичної функції $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega)$ для довільного значення $n \geq 2, \omega \in \Omega$. На жаль, на практиці, наприклад, у спрямованому імітацій-

ному моделюванні, не завжди можна скористатися формальними математичними методами планування експерименту через те, що значення функцій $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega)$ обчислюються дуже повільно або ж для отримання значень $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \omega)$ має бути виконаний дуже витратний або дуже тривалий новий експеримент [3].

Для студентів Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, студентів і аспірантів Київського академічного університету, інших дослідницьких вишів викладене може слугувати вступом у дисципліну «Теорія планування експерименту», в якій систематично розглядається регресійний аналіз лінійних моделей спостережень повного і неповного рангів, питання перевірки гіпотези адекватності моделей, аналіз багатовимірних функцій відгуку, пасивний, повний і дробовий факторні експерименти, а також вивчаються лінійні плани, стохастичне оцінювання градієнта, пошук екстремуму функцій відгуку, всебічне дослідження околу екстремуму [5; 6]. Стажери і практиканти Науково-навчального центру прикладної інформатики НАН України, яких зацікавила окреслена науково-практична задача, запрошуються до участі у розробленні сучасної хмарної експертної системи технолога, яка знайде використання в бізнесі і на виробництві [4].

Висновки. Наведені в цій статті математична модель, приклади і методичні рекомендації щодо її застосування окреслюють суть теоретичних проблем, з якими на практиці має справу інженер-програміст, розробник ЕС. Приклади, наведені у статті, можуть бути використані під час розроблення сучасних навчальних курсів, навчальних посібників і підручників, орієнтованих на інженерів-програмістів.

Список літератури:

1. Распопов В.Б., Ситнік Д.І. Роль математичного моделювання в експертній системі технолога // Наука України. Перспективи та потенціал [Текст]: Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції «Наука України. Перспектива та потенціал» (м. Одеса, 21–22 лютого 2014 р.). – Одеса: 2014. – С. 31–33.
2. Розробка моделей та методів аналізу складних систем засобами комп'ютерної математики [Під ред. доцента В.Б. Распопова]: Науково-учбовий центр прикладної інформатики НАН України. – Київ: НУЦ ПІ НАНУ, 2016. – 122 с. – С.: 91–96. – [Електронний ресурс]: – <https://en.calameo.com/read/003168372fc8fe652df02>
3. Марьянович Т.П., Петросян С.А., Распопов В.Б. Диалоговый метод в направленном имитационном моделировании. – Ж-л «Кибернетика», № 3, 1978. – с. 58–61.
4. Распопов В.Б. Щоб вивчитись на науковця. – Ж-л «Вісник Національної Академії наук України», № 12, 2012. – С. 44–54. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://en.calameo.com/read/00316837263af93ba5649>
5. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
6. Сидняев Н.И., Вилисова Н.Т. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 463 с.

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО БЛОКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГА

В статье рассматриваются теоретические аспекты использования методов математического моделирования, оптимизации и планирования эксперимента для настройки технологических параметров на производстве. Статья имеет целью заинтересовать будущих исследователей – юных программистов МАН, академически одаренную студенческую молодежь, стажеров и аспирантов НИИ НАН Украины – задачами инженерного проектирования, практикой реализации и использования экспертных систем.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, планирование технологического эксперимента.

THE MATHEMATICAL ENGINEERING FOR THE APPLIED EXPERT SYSTEMS

The theoretical aspects of the use of methods of mathematical modeling, optimization and planning of the experiment for the adjustment of technological parameters in production are considered in the paper. The article aims to interest future researchers – young programmers of the Minor Academy of Sciences, academically gifted student youth, trainees and postgraduates from the Institutes of Sciences of the NAS of Ukraine, – tasks of engineering design, practice of implementation and use of expert systems.

Key words: modeling, optimization, planning of technological experiment.

УДК 621.396

Романюк А.В.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Проведено аналіз та класифікацію задач управління безпроводними сенсорними мережами, що належать до класу MANET. Наведено можливі об'єкти управління та основні параметри оптимізації у безпроводних сенсорних мережах за рівнями еталонної моделі OSI. Визначено множини цільових функцій управління безпроводними сенсорними мережами, їх взаємозв'язок та порядок використання системою управління мережею під час прийняття рішень з управління вузловими та мережевими ресурсами.

Ключові слова: цільова функція, безпроводна сенсорна мережа, моніторинг, система управління.

Постановка проблеми. Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) – це розподілені на місцевості та стійкі до відмов радіомережі, що складаються з мініатюрних електронних пристроїв (сенсорних вузлів, які можуть бути як стаціонарними, так і мобільними), призначених для збору інформації про навколишнє середовище та передачі цієї інформації на спеціальні інформаційні центри [1]. Загальна ідея функціонування БСМ полягає у використанні великої кількості безпроводних сенсорів, які можуть бути розташовані на значних географічних територіях для моніторингу різномірних параметрів навколишнього середовища. Отримана безпроводним сенсорним вузлом інформація передається на спеціальні шлюзи безпосередньо або шляхом ретрансляції через проміжні сенсорні вузли. У разі, якщо площі території для моніторингу дуже великі, як шлюзи можуть використовуватися сенсорні вузли на базі безпілотних літальних апаратів (БЛА) чи аероплатформ [2].

Простота встановлення, відносна дешевизна та висока ефективність БСМ сприяли значному інтересу до цього класу радіомереж, і, як наслідок, вони знайшли широке застосування у різних галузях суспільного життя (рис. 1): автомобільні БСМ, БСМ для спостереження (охорони різного роду об'єктів), БСМ оповіщення (муніципальні БСМ), тощо. Однак наведені приклади застосування БСМ передбачають їхню попередню інсталяцію та налаштування, що часто є неможливим в умовах

моніторингу об'єктів критичної інфраструктури чи територій у зонах стихійних лих (техногенних аварій) або під час ведення активних бойових дій у тактичній ланці управління військами. За таких умов можливим виходом із ситуації є використання БСМ, побудованих за принципом Ad-Hoc або MANET (Mobile Ad-Hoc) [2], що дає змогу створити радіомережу, здатну до самоорганізації та адаптації вузлів до умов функціонування, які неможливо передбачити у процесі проектування. Такі БСМ будуть функціонувати в автоматичному або напівавтоматичному режимі, тому сенсорні вузли повинні мати змогу приймати рішення з управління вузловими та мережевими ресурсами без участі людини.

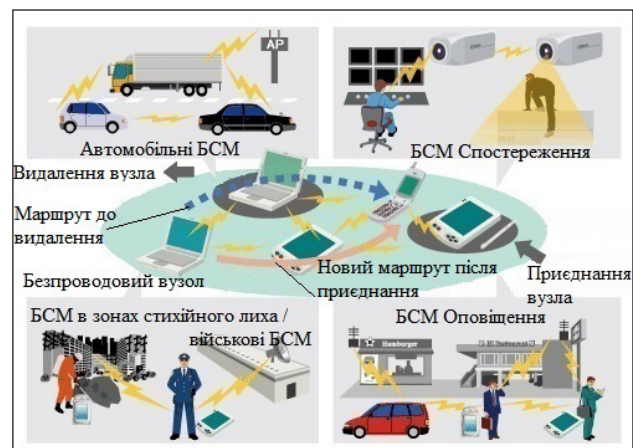


Рис. 1. Галузі застосування безпроводних сенсорних мереж класу MANET (Ad-Hoc)

Для цього у складі кожного сенсорного вузла повинна бути система управління (СУ), здатна приймати рішення за децентралізованим принципом з метою забезпечення заданої якості обслуговування трафіка, який передаватиметься в БСМ [3]. При цьому управляючі впливи вузлових СУ здійснюються шляхом реалізації циклу управління (збір та аналіз інформації про стан мережі, ідентифікація ситуації про стан мережі та прийняття управляючого рішення із забезпечення якості передачі трафіка) на основі цільових функцій управління. Варто зауважити, що з урахуванням різноманітності параметрів сенсорних вузлів під час визначення цільової функції сенсорного вузла його система управління повинна враховувати і цільові функції вузлів сусідів, і цільову функцію управління всією БСМ (чи її зоною).

У зв'язку з цим **наукове завдання**, яке вирішується в цій статті, полягає у визначенні множини цільових функцій управління БСМ класу MANET, проведенні їх класифікації, визначенні взаємозв'язку, особливостей та порядку їх використання системою управління мережею.

Аналіз останніх публікацій. У процесі попередніх досліджень були запропоновані підходи до оптимізації радіомереж класу MANET за одним або декількома показниками [4–7]. Зокрема, в [4] запропоновано управляти витратами енергії батарей, у [5] – здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту з урахуванням його мобільності, в [6] – оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, у [7] – враховувати тип трафіка тощо. Однак непередбачуваність умов функціонування радіомереж класу MANET приводить до необхідності трактування того, що

цільові функції управління не є статичними, а визначаються в часі залежно від етапів і функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [8].

Визначимо особливості задач управління БСМ класу MANET (рис. 2):

- реалізуються на різних етапах управління мережею (планування, розгортання або відновлення, оперативне управління);
- відрізняються за функціями, такими як переміщення БЛА чи рухомих сенсорів (управління маршрутом руху, координація польоту групи БЛА, визначення району баражування тощо); покриття зони моніторингу (визначення «зон відповідальності» сенсорів, пріоритетної групи сенсорів, послідовності роботи сенсорів тощо); забезпечення якості передачі даних (управління маршрутизацією, управління топологією, управління навантаженням тощо);
- різні об'єкти впливу (вся БСМ, окрема зона БСМ, напрям передачі інформації, маршрут, канал, сенсорний вузол), що вимагає узгодження та координації цільових функцій;
- різні цільові функції, що можуть заперечувати одна одну;
- різні математичні постановки цільових функцій (чітка або нечітка, задачі масового обслуговування, маршрутні тощо);
- висока розмірність та динамічний характер;
- важкість формування повної системи показників оцінки ефективності;
- неповнота та часто недостовірність контрольної інформації про стан БСМ та її елементів;
- взаємозалежність задач управління;



Рис. 2. Класифікація задач управління MANET із ТА

– відношення до різних рівнів еталонної моделі OSI.

В умовах змішаного управління (частка функцій виконується централізовано центрами управління БСМ, а друга децентралізовано – вузлами) можна визначити дві взаємозалежні групи цілей:

– мережеві (зонові) – оптимізація мережевих або зонних показників ефективності;

– користувальницькі – досягнення заданої якості передачі між сенсорними вузлами та функціонування елементів мережі за напрямом передачі.

До мережевих (зонних) цілей управління можна віднести оптимум таких параметрів $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$:

- C_1 – продуктивність всієї БСМ чи її зони;
- C_2 – потужність передач вузлів мережі чи її зони;
- C_3 – ступінь покриття території моніторингу сенсорними вузлами (рухомими чи стаціонарними);
- C_4 – структурна надійність (зв'язність) мережі, її зон;
- C_5 – кількість ресурсів (стаціонарних та мобільних сенсорів, аероплатформ тощо), які необхідно задіяти для досягнення певної мети;

– C_6 – час функціонування БСМ у разі її автономної роботи;

– C_7 – обсяг службового трафіка, який генерується для збору інформації про стан БСМ;

– C_8 – час планування, розгортання, відновлення БСМ;

– C_9 – параметри безпеки тощо.

Основними обмеженнями при цьому є ресурси і параметри сенсорних вузлів: батареї живлення, пропускна здатність радіоканалів, дальність радіозв'язку, обсяги пам'яті, швидкість обробки інформації процесорами тощо.

До основних користувальницьких цілей управління можна віднести оптимум (обмеження) таких параметрів, як пропускна здатність сенсорного вузла, час затримки передачі повідомлень, потужність передавача, енергія (витрати енергії) батарей у радіоканалі, маршруті, напрямі тощо, площа зони моніторингу, час автономного функціонування та ін.

Схема визначення цільових функцій вузловою системою управління

У табл. 1 наведено можливі об'єкти управління та основні параметри оптимізації. Як зазначалося вище, непередбачуваність умов функціонування БСМ, децентралізований принцип управління ними

Таблиця 1

Об'єкти управління та основні параметри оптимізації БСМ

Рівень OSI	Управляючий вплив вузла	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації
Фізичний	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип коригуючого коду, параметри МІМО тощо	Радіоканал між рухомими та стаціонарними сенсорними вузлами	Пропускна здатність, витрати енергії батарей, потужність передачі тощо
Канальний	MAC-алгоритми та їх параметри, розміри пакетів та квитанцій тощо	Радіоканали в межах радіозв'язності окремих сенсорів (чи зони БСМ)	Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо
Мережевий	Алгоритми маршрутизації, алгоритми управління топологією, алгоритми адресації, тощо	Один або декілька маршрутів передачі (відповідно зона або вся БСМ), топологія, тощо	Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо), топологія
Транспортний	Алгоритми управління чергами, алгоритми управління навантаженням, тощо	Потоки даних різного типу (відео, мова, дані)	Параметри якості передачі даних у напрямі (час затримки передачі та його варіація, ширина смуги пропускання та ін.)
Прикладний	Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня (енергозбереження, координації та інтелектуалізації управління, розпізнавання об'єктів спостереження та ін.)	Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа, об'єкти спостереження та ін.	Пропускна здатність, витрати енергії батарей, безпека передачі, час виконання завдання, «час життя» сенсорного вузла та БСМ загалом тощо

та наявність різних типів інформації для передачі (відео, мова, дані) вимагає від системи управління кожного вузла здійснити вибір цільових функцій управління з урахуванням таких чинників:

1) стан самого сенсорного вузла, який визначається множиною його параметрів (реальна пропускна здатність радіоканалів, дальність радіозв'язності, наявні сусіди, стан черг, наявність, тип та величина зміни вхідного навантаження, мобільність, динаміка зміни наявних зв'язків із сусідами, наявність, кількість та якість побудованих маршрутів, розміри зони моніторингу тощо). Кожен вузол постійно (активно або/та пасивно) збирає інформацію про стан вузлів-сусідів, маршрутів та напрями передачі, мережу (зону) та за сукупністю показників визначає (ідентифікує) стан БСМ [3; 8]. При цьому ресурсами вузла є апаратні (потенційна пропускна здатність радіоканалу, наявний обсяг енергії батареї живлення, швидкодія процесорів, потужність передавача тощо) та програмні ресурси (алгоритми управління, протоколи управління на різних рівнях OSI та функціональних підсистемах, рівень інтелектуалізації процесів управління тощо);

2) стан БСМ (визначається станом сенсорних вузлів, каналів, інформаційних напрямів і зон БСМ) та динаміка його зміни;

3) тип інформації (трафіка), який визначає вимоги до якості передачі (час затримки передачі та його варіація, кількість помилок, ширина смуги пропускання тощо).

Узагальнений алгоритм визначення цільових функцій системою управління кожного сенсорного вузла складається з трьох етапів (рис. 3).

1. Сенсорний вузол постійно збирає інформацію про параметри свого функціонування та здійснює ідентифікацію власного стану.

2. Шляхом обміну службовими повідомленнями сенсорний вузол постійно збирає інформацію про параметри вузлів-сусідів та радіоканалів, через які вони з'єднані, здійснюючи таким чином ідентифікацію стану БСМ чи її зони. В умовах неможливості збору всієї інформації про стан БСМ та через її швидке старіння (тобто інформація про стан мережі є неповною і неточною) для здійснення процесу ідентифікації пропонується комплексне використання апарата нечіткої логіки та нейронних мереж [3].

3. Система прийняття рішення сенсорного вузла на основі ідентифікованих станів вузла та БСМ, а також вимог до якості інформаційного обміну, що визначаються типом інформації, яку має сенсор для передачі, виконує такі функції:

- визначає поточну множину параметрів оптимізації – мережевих та користувальницьких;
- визначає об'єкти управління (табл. 1);
- визначає поточну цільову функцію (функції) управління;

- узгоджує (координує) її з сусідніми сенсорними вузлами (якщо вузли одного рангу) або призначає її підпорядкованим сенсорним вузлам (якщо це центр управління БСМ або головний вузол зони БСМ);

- вибирає управляючий вплив за етапами, охопленням, функціональною підсистемою, рівнем OSI.

У [8] наведена взаємозалежність цілей, а також їх ієрархічний характер, проведена декомпозиція

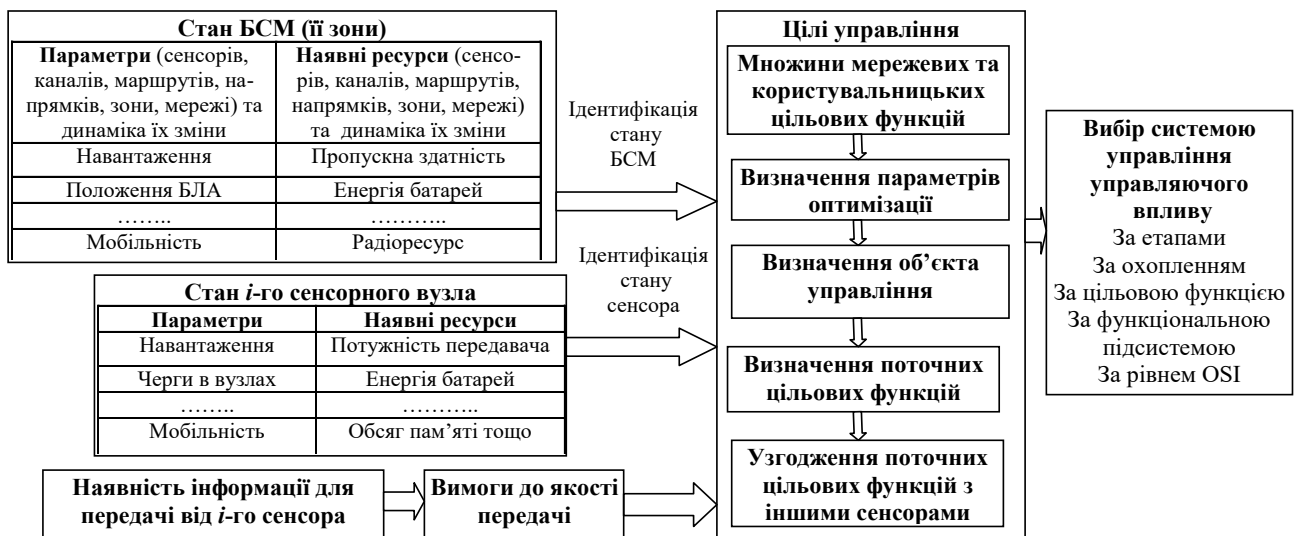


Рис. 3. Схема визначення цільових функцій вузловою системою управління

глобальної мети управління мережею за функціями, кожна з яких ділиться на завдання і реалізується за рівнями OSI. Мета – одержання вектору пріоритету елементів нижнього рівня ієрархії щодо цілі – елементу першого рівня за – допомогою методу аналізу ієрархій або методу згортки нечітких відносин. Цільова структура (ЦС) управління БСМ має такий вигляд:

$$\ddot{O}\ddot{N} \rightarrow \dot{I} = \{ \tilde{N}_1, R_{1m(1)} \{ \tilde{N}_{21}, \tilde{N}_{22}, \dots, \tilde{N}_{2m(2)} \}, R_{2m(2)} \{ \tilde{N}_{31}, \tilde{N}_{32}, \dots, \tilde{N}_{3m(3)} \}, \dots, R_{km(k)} \{ \tilde{N}_{k1}, \tilde{N}_{k2}, \dots, \tilde{N}_{km(k)} \} \}$$

де C_i – основна ціль системи управління, $C_{im(i)}$ – $m(i)$ -а підціль i -го рівня на цільовій структурі, $i = 1 \dots k$, R – множина відносин на підцілі структури. Крім того, у [8] запропонована побудова ієрархії процесу вибору альтернатив та порівняння рішень на кожному рівні ієрархії на основі нормалізації отриманих оцінок альтернатив (застосовуючи процедуру зважування методу аналізу ієрархій або метод згортки нечітких відносин). Завдання ухвалення рішення з управління БСМ (вибір методів управління та необхідних параметрів функціонування сенсорних вузлів) зведене до

завдання ієрархічного цільового динамічного оцінювання альтернатив за нечітких вихідних даних.

Висновки. Таким чином, проведена класифікація цільових функцій управління БСМ класу MANET, які можуть бути застосовані для моніторингу об'єктів критичної інфраструктури. Запропонований новий підхід до формування цільових функцій управління в зазначених радіомережах, який полягає в тому, що кожен сенсорний вузол визначає власну цільову функцію залежно від типу трафіка, що передається, цільових функцій вузлів-сусідів, ситуації, що склалася в БСМ, а також наявних вузлових та мережевих ресурсів. Завдання прийняття рішення щодо вибору цільової функції управління БСМ зведене до ієрархічного цільового оцінювання альтернатив.

Зважаючи на неповноту та неточність інформації про стан БСМ, для реалізації представленої схеми формування цільових функцій управління пропонується комплексне використання апарату нечіткої логіки та нейронних мереж. У процесі подальших досліджень будуть розроблені методи координації цільових функцій вузлів БСМ класу MANET.

Список літератури:

1. Dargie W. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice / Dargie W., Poellabauer C. – New York: John Wiley and Sons, 2010. – 248 p.
2. Sitharama I.S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Жук О.В. Система управління тактичними сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88–96.
4. Olascuaga-Cabrera J.G. A multi-objective PSO strategy for energy-efficient ad-hoc networking / Olascuaga-Cabrera J.G., Lopez-Mellado E., Mendez-Vazquez // IEEE Cybernetics Systems, Man (SMC) Conference, 2011. – P. 235–240.
5. Babaei H. Multi Objective AODV Based On a Realistic Mobility Model / Babaei H., Romoozi M. // IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 3, No 3, May 2010. – P. 152–155.
6. Banner R. Multi-Objective Topology Control in Wireless Networks / Banner R., Orda A. // In Proc. IEEE INFOCOM, 2008. – P. 452–456.
7. Selvi R. Multiple-objective optimization of multimedia packet scheduling for ad hoc networks through hybridized genetic algorithm / Selvi R., Rajaram R. // The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA). – Vol.3, № 3. – August 2011. – P. 368–372.
8. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2012. – № 1. – С. 109–117.

ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛАМИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Проведены анализ и классификация задач управления беспроводными сенсорными сетями, которые относятся к классу MANET. Приведены возможные объекты управления и основные параметры оптимизации в беспроводных сенсорных сетях за уровнями эталонной модели OSI. Определено множество целевых функций управления беспроводными сенсорными сетями, их взаимосвязь и порядок использования системой управления сетью при принятии решений по управлению узловыми и сетевыми ресурсами.

Ключевые слова: целевая функция, беспроводная сенсорная сеть, мониторинг система управления.

**NODAL OBJECTIVE CONTROL FUNCTIONS OF THE WIRELESS
SENSOR NETWORKS FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE MONITORING**

The analysis and classification of the MANET wireless sensor networks management tasks are considered. The possible management objects and main optimization parameters in wireless sensor networks by the OSI model levels are shown. The set of objective control functions of the wireless sensor networks is defined. The relationship and the use of objective control functions by the network control system in decision-making of nodal and network resources control are considered in the article.

Key words: *objective function, wireless sensor network, monitoring, control system.*

Sobolev V.A.

V.I. Vernadsky National Taurian University

PRACTICAL APPROACH TO ENVIRONMENTALLY SAFE VITAL ACTIVITY IN MODERN CONDITIONS¹

One aspect of possible counteraction to the consequences of global change of climate is fragmentary considered in the paper. The offered measures based on the wide and skilled application of some inexhaustible mineral resources of the planet are discussed, which have the ecology-economical meaningfulness, as far as they pursue not only possibility for prevention of negative consequences of the anthropogenic activity in the world but also up to a large extent for help in solving the food production problem, in particular in the developing countries. An additional feature of such approach is prevention of massive migration of population from unfortunate regions.

Key words: *muddiness of soils and waters, global climate change, bio-agriculture, modified zeolite.*

Introduction. At present time the reasonable anxiety is caused by broken ecology of habitat: muddiness of soils and waters in connection with atomic accidents and saturation of territories by ecologically harmful productions, transformed from just an ecological problem into the calamity of social and economical character.

In a number of regions there are rich deposits of oil, uranium, gold; the deserts offensive (Middle Asia, Africa, Arabia, Australia), erosion of soils take a place as the result of their development. Sterile lands and high density of population in many countries stipulated an existence of ecological problems. The solution of this problem requires the complex approach to protection of the environment and rehabilitation of the population's health.

Therefore, we consider that is expedient and timely not only to solve the urgent problems of harmonization of environmental and anthropogenic factors but also systematically implement the projects and/or their separate steps, providing the practical human life. This activity should be an ecologically clean, waste-free and fully self-contained, autonomous in terms of self-sufficiency with necessary food, energy and water resources, cost-recoverable and safe for the environment. Today, the Nature must be secured from the Man! By the words of one of the most famous creators of science from Medieval Times Paracelsus: "... *In the moment of a man creation the primary world equilibrium was broken. Therefore since that*

time the destiny of man is renewal to primordial harmony...".

In 2005 more than 1600 leading scientists from 71 countries had signed the document named "Warning of the World scientists to Humanity". It was the most anxious warning that was got by the world at any time from such powerful group of researchers: "*Human society and Nature got into the state of contradiction. Activity of humanity inflicts an enormous and frequently irreparable damage to the environment and vitally important resources*".

In this document-warning the most critical situations have been enumerated: pollution of waters, oceans, soil, and atmosphere, extinction of plants and animals and overpopulation of Planet. Today, the main part of the world already took this statement into account; however some politicians do not hurry to provide any unpopular measures. In the opinion of governments, if contamination will be stopped, an economy will suffer or even will collapse. This cynicism will cost for the Humanity very expensive!

Very solid position belongs to James Lovelock (he is confessed specialist in ecology of Mars, author of the theory of ozone holes). In the 60–70-th of the last century he worked out the Gaia-hypothesis (Gaia is the Greek goddess of Earth) that a life on a planet ought to be considered together with a complex of accompanying and providing material circumstances in a common integral object [1].

He investigated a number of models of life evolution that brought him to the conclusion about inevitability of catastrophic global warming in case

¹ Author is grateful to prof. I. Kazachkov (Nizhyn Gogol State University) for valuable comments and for help in preparing the article.

if greenhouse gases will be thrown out in atmosphere by the former rates. Today he already does not doubt that a catastrophe is inevitable and that it offensive can be only slowed but not prevented. Lovelock is the passionate defender of atomic energy because it does not give the carbon-dioxide emissions. Unfortunately as shown by severe accidents on a few nuclear power stations (the most dangerous was Chernobyl catastrophe) they may be especially dangerous [2-4]. Under severe accident accompanied by break of the reactor vessel, the corium melt penetrates into containment, where the passive protection system must firmly retain it in controlled cooling state during the requested time of the accident's control. Presence of the reliable passive protection systems for the containment, which is the last safety barrier of nuclear power plant, must guarantee protection of the containment against destroying during the unlikely hypothetical severe accident.

About the exigency of a decision on the discussed problems there are witnesses of the Resolution 58/211 of General Assembly accepted by UNO that, with reference to the fundamental documents, declared 2006 the International year of the deserts and desertization, offered to the entire countries to support the measures related to desertization, including degradation of soils, that must be organized by all affected countries.

Problems of global climate changes

Thus, the global climate changes put new risks in front of our civilization. How will it affect the productivity of agriculture in the different regions of the planet? What will be a reaction of the World Ocean on the global warming? Is Humanity capable with his present mentality and level of responsibility for resist to the approaching ecocatastrophe?

The authors of the work [5] analyzed evolution of the planet's climate and modern tendencies of its change, comprehended the problems caused by disharmony in Civilization – Nature interaction and offered some concrete measures for minimization of consequences on the climate metamorphoses. They reminded that the amount of catastrophic natural anomalies on the planet (snow-falls, thunder storms, droughts, hurricanes, earthquakes, tsunami, etc.) had grown minimal fourfold for the last 50 years. Thus, natural disasters did not pass any place of the Earth during the last years.

The problems of climate have got really crucial role purchased a determining value for civilization and require an urgent correction of the humanity-nature interaction, foresight of possible consequences of the marked dangerous changes in a natural vegetation and

agro-ecosystems, in particular, for their productivity and biosphere role.

On opinion of [6], a climate is the characteristic for certain territory a long-term mode of weather, conditioned by a solar radiation, its transformations into the active layer of the Earth's surface and related circulation of the atmospheric and water masses, determined by the state of atmosphere, lithosphere, hydrosphere, cryosphere and biota.

In this small article we do not state the goal to analyze the role of all the above-mentioned tasks and their peculiarities in detail because their deep analysis has been done by specialists, including the authors of [5]; we like just underline some basic negative moments, without the account of which in vital functions, our civilization may stop its existence already in the nearest future.

The greenhouse effect and dramatic Earth population's growth

The main component of the greenhouse effect is the presence of huge amount of carbon dioxide in the atmosphere and the rate of its anthropogenic emissions (about 20 bn. tons per year). For various reasons, its concentration in the air has increased by 30% compared to pre-industrial levels and continues to rise (it is believed that by 2060 the amount of CO₂ in the atmosphere will determine the increase in the average surface temperature of 1–3°C [7]). The second most important greenhouse gas methane, as a natural component of life on the planet, provides 15% of global warming.

The ages of prolonged warming and icing of the Earth are quite natural for the life of the planet in the Space. But it just happened so that a modern civilization living at the crossroads of epochs might suffer and even cease to exist without taking any measures to reduce at least the anthropogenic contribution to the possibility of their own death. In fact, only during the recent years major environmental negatives began to show, and experts have started to comprehend the extent of their impact in the near future. The effect of global climate change of the planet was officially recognized as a scientific fact on Interstate Madrid Conference of the United Nations in 1995, when it became clear that if humanity cannot significantly slow the rate of warming in the next 15-20 years, a quarter of a century will have to quickly adapt to the completely new conditions of life (existence!).

Global warming is the most serious threat of all of the threats facing humanity for the whole period of its historical existence. It is estimated that up to 2065 the amount of damages incurred by the humanity from this disaster can exceed the gross world product and

will result in the tough food shortages, especially in the current fantastic population growth rate (1% per year!).

Due to the ecological (anthropogenic) crisis and its impact on the transparency of the atmosphere of the planet in the infrared range of the spectrum now, in order to return to the previous temperature regime, the amount of solar radiation on the Earth urgently needs to be reduced by at least 1 % (we did not even mention the contribution of the World Ocean, in the waters which CO₂ is dissolved 60 times more than in the atmosphere).

Therefore, respectable international forums of the environmentalists and climatologists decided for such urgent and extraordinary measures as the release of the near-Earth space in the huge amount of confetti made of aluminum foil, which would reflect part of the solar radiation into the space. Another solution to this problem is to put on orbit a giant mirror film. We do consider even technically feasible "hang" solar sail over the problematic area (the ozone hole) for the controlled screening against solar radiation.

With a similar to above aim the experiments on local defense of one of glaciers in Switzerland by white polyethylene film (as a carpet) are conducted, that must prevent intensive melting, because the calculations show that 70% of glaciers of this country can disappear totally in 25 years. Unfortunately it is impossible to perform solar reflection by such kind mirror on the greatest most ancient glacier of the North hemisphere on an island Greenland that occupies an area 1834 thousand km², which for example exceeds the territory of Ukraine three times. According to computer models, the irreversibility point of its melting (it is 2.5 million km³ of ice) will be attained already in the middle of XXI century.

It is supposed that a rise in temperature on the Earth conditioned not only by natural reasons began 8 thousand years ago as a result of massive removal of the forests for agriculture [8]. It resulted in breaking the natural processes of the carbon dioxide absorption by biota and in the gradual accumulation of CO₂ in atmosphere. 5 000 years ago the man-made bogs appeared for till of rice that were a reason for another greenhouse gas – methane – accumulated in the atmosphere.

As a result, during many millenniums there was a gradual warming-up of atmosphere and environment because of an additional greenhouse effect. And in the period of revolutionary industrial development a speed of carbon dioxide accumulation in an atmosphere grew substantially, as the "man-made volcanoes" began to throw out this gas in an

environment considerably more than the natural volcanoes at any time before. Therefore in the last half of century the anomalous (on scales) warming-up of atmosphere and environment in general on 0.6-0.8oC was happened on a planet, threatening to life of many types of vegetable and animal kingdom.

Withdrawal of soils from productive use

It is known that from 3.5 billion hectares of a fertile Earth's cover mastered by humanity for agricultural goals during many thousand years of its history, as a result of different ecological reasons already fully 2 milliard hectares became infertile. In the last 50 years a withdrawal of the soils from productively used ones still remaining in a use was substantially accelerated, on the average we lose up to 15 million hectares of agricultural soils annually, i.e. in 3 years the humanity loses agricultural territory of biggest country of Europe – Ukraine. Thus, in 50 years the half of present fields will be withdrawn from productive use; and forecasted on that period of time 9 milliards of people must be fed from only remaining 750 million hectares [9]. It is set that the increase of the average temperature on a planet only on 1 oC results in reduction of rice productivity, which is basic cereals of south hemisphere, on 10% (International institute of rice – IRRI); the indexes of loss of the productivity of soy and corn are similar.

Cruel droughts and total poor harvests in equatorial Africa in recent years already are ordinary phenomenon and a few ten millions of people are suffering. Soon two third of territory of Africa can become the naked stony deserts. A desertization threatens for many regions at other continents because humidity circulation in every locality is provided only by vegetation peculiar to this locality. Thus, further increase of temperature in the nearest decades means insolvency of agriculture in general.

Factors influencing a climate change

The world meteorological organization, undertaking long-term studies, came to the conclusion that the anthropogenic part of the attained level of climate change on a planet makes no less than 50%.

The permanent industrial emissions in the atmosphere in planetary scale of a number of originally anthropogenic gases during already two centuries successively – carbon dioxide (60% of the already attained additional "greenhouse effect"), methane (15%) and other compounds of carbon (8%), oxides of nitrogen (5%) and ozone (12%) led to the negative for humanity surplus in warming-up the atmosphere and general anomalous rise of temperature was. These emissions already notably changed the contents of indicated natural gases in the atmosphere

of a planet. "Climatic stress" resulted in beginning of the thawing of enormous areas of permafrost in Siberia, because an average temperature in Arctic (as well as in Greenland) changes 2 times faster than in other regions of the planet and rose already by 3°C. But enormous volumes of methane – up to 25000 billion m³, or about 18 billion tons, are "celled" in Siberia, which already began gradually to pass in atmosphere. At the end of XX century the Black sea – largest in the world water reservoir of methane already "burned" twice. On the bottom of the sea about 400-meter layer of heavy "warm ice", gas-hydrate, every cubic meter of which contains the 220 m³ of dissolved methane appeared long time ago.

Ukrainian specific features

According to the above-described it may seem that some countries can avoid a sad fate. It would be desirable to caution the governments of such outwardly "safe" countries, as, for example, Ukraine, Russia and others. Really, what can that threaten to Ukraine that was historically formed on a territory, where the natural ecosystems have been during millenniums in a state of dynamic equilibrium and saved a capacity for independent renewal? However, it is necessary to step back from politics of regional egoism and face the truth. The experts estimated [10] that Ukraine is the "critical" regions of planet, where the considerable changes for temperature gradients may be expected in the nearest future. They forecasted anomalously cold winters with sharp over falls of temperatures and shortage of snow, and droughts expected in a summer periods. Ukraine is the traditionally "cereal" country.

By opinions of the prominent scientists and engineers we tried very shortly to light up only some ideas about the state of the Earth's ecology from the point of view of prospects for our civilization. And we must note that we are unable to do any consoling conclusions. Humanity does not dig, it dug up a grave for itself and, whether or not a future will take a place now depends only on us altogether but today there seems to be no political force able to force such efforts for our common future.

What and how to do for improvement of the ecological situation? Not expect an "Apocalypse" submissively but make an effort by all forces to prevent it! We agree with specialists offering a set of measures directed to minimization of consequences of global greenhouse effect, actual, in opinion of the authors [5], for the national economy of the Ukraine, in particular: reduction the rate of atmosphere contamination, pollutions of soils and waters 5 times to 2050 year; renewal of natural biota on 2/3 terri-

tories of the Earth, expansion of areas of the forest planting and protected landscapes 5 times; stabilizing the Earth population at the level of 7–7.5 billions of people; reduction of the arable areas with the simultaneous increase of the agriculture productivity due to introduction of highly productive sorts, breeds of animals, modern technologies; substituting the out-of-date power and industrial technologies with the scientifically capacious, resource saving and ecologically clear ones.

A substantial role is going to the plant-breeding works by increase of of productivity and adaptation to the expected climate changes. Biologists express that in the arsenal of methods for fighting against the global warming a leading role must belong to renewal of natural ecosystems – forest planting, bogs, meadows, marine and freshwater reservoirs, to reduction of arable areas, improvement of bioagrotechnologies, search and selection of high-yield sorts for agriculture that differ in the considerable coefficients of assimilation of sunny energy and carbon dioxide. Modern science has to develop the newest agrotechnologies, adopted to addition the humic compounds into soils. It will not just solve the problem of fertility-improving the soil but also will assist the reliable depositing surplus carbon in soil.

Our original scientific results for improvement of ecology

Taking into account the stated, the field of the authors' research and other activities embrace the questions of the environment protection against negative influence of technogenic factors using the natural minerals, namely their modified forms. In other words, *we try to help the Nature in its auto rehabilitation with the use of its own resources.*

The results of approbation of some stages of our project not only refute existing at administrative level in Ukraine an opinion about unprofitable financial means investment in implementation of works of the ecological orientation, but also prove separate stages of the project be reimbursed in 3–5 years. Probably the fate of Ukrainian nation will decide in the nearest years and to a great extent it depends on the state of ecology. Degradation of all living standards in Ukraine during "independence" times – in politics, culture, economy and ecology resulted in the inevitable decrease of man's quality and continuous falling of the physical and spiritual levels of population and its elects is one of the reasons of non-recoverable destruction of ecological equilibrium.

It is necessary to substantially change the quality of life and do it from below, without expecting an order or help from the top managers! To the global

climate catastrophe we are approaching in the terms of already almost ecological catastrophe.

Ukrainian Zeolite minerals

The bowels of country are rich on natural minerals, including Zeolite-containing minerals that would be able to provide ecologically clean management even in polluted regions and thus to create the conditions for making healthy nation, even for maintenance of its gene pool. The best deposits of natural Zeolites in the World (on quality) – Clinoptilolite and Mordenite (see in the table below) – there are in the West Ukraine (the holdings of Zeolites in Ukrainian Carpathians estimated in 4 billion tons). Presence of Zeolite-containing natural minerals in the bowels is basis for development of selective sorbents and organo-mineral composites (OMC- fertilizers for bio-agriculture). It allows complex solving the discussed problems, using the results of our works [11–13]. Primary quality of such minerals, except presence of microelements, which are necessary for growing the vegetable and animal organisms, is an ability to "take in", to link the cations of metals (only univalent – sodium, caesium and other) by the internal structure, numerous pores, ramified zeolite channels. The size of entrance windows of such channels is insufficient for penetration of two-valent cations (Ca^{2+} , Sr^{2+}) and all heavy metals (lead, cadmium, zinc) into the channels. Synthetic zeolites would solve this task but their price, absence of necessary raw material and technological base under condition of the degraded economy make impossible their production and application in any perceptible scales.

Zeolite organo-mineral composites

Taking into account the above-mentioned, jointly with the scientists of the NAS of Ukraine the organo-mineral composites on the modified zeolite basis (OMC), which contains 1–5 mass % sorbents of selective selective, were created. It binds the cations of heavy metals and radioisotopes of Sr^{2+} in a soil and in water solutions that prevents their passing to ground water and in a biomass of plants. It is known that among measures that bring down entering of radio- nuclides into plants, a substantial role belongs, for example, to removing the top 4–5 cm layer that decrease radioactive contamination by one order of magnitude. But for this purpose it is needed to remove about 750 tons of soil from 1 hectare. Burying of such volumes of soil is unreal. The considerable losses of the soil fertility would take place.

OMC is prepared by soaking (saturation) of natural Zeolite (1-3 or 5 mm fractions) with solution containing mixture of humic acids and sodium humate. Also 1–5% modified Zeolite P is added to this treated Zeolite probe. Humic acid and its salts are obtained by hydrothermal treatment of lignite according to patented procedure. It is shown: – transition coefficient of radioactivity in soil-plant system is reduced for the majority of cultures by 2 times, – on the other hand high degree of radioactivity transition from soil into radish and rape plants provides a method for bioremediation of soils, for turf (peat) soils with increased acidity (pH 4.7–5.6) at contamination level 5 Ci/km² (185 kBq/m²) and lower (below 2%), humic content is recommended to add 4 tons/ ha of OMC

CHEMICAL COMPOSITE of the SOKIRNITSA CLINOPTILOLITE												
												$\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \times 20\text{H}_2\text{O}$
Component	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	F	As	Pb	Cu
content, %	71,5	13,1	0,9	0,5	3,44	0,68	0,014	3,03	0,025	0,0015	0,002	0,02
<i>Content of microelements, g/ton:</i>												
Mn-242, Zn-45, Ga-20, Th-12, Rb-110, Y-22, Zr-235, Nb22, Ba-232, Ce-52												
<i>Chemical characteristics</i>												
porosity - 44 %;						density - 2,370 kg/dm ³						
specific surface - 50 -65 m ² /g						content of Clinoptilolite - 60-70%						
capacity of cation change - 1,5 mg.eq./g						thermal stability - up to 700 °C						
humidity - up to 7%						attrition value - up to 4%						
Total specific activity of natural radionuclides -144,5 Bq/kg												
Mechanical durability at compression - 200 kg/cm ²												
<i>Ionchange characteristics</i>												
BASIC CATIONS, ABSORBING FROM SOLUTIONS												
Os+, Pb+, K+, NH ₄ +, Ag+, Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺ , Ba ²⁺ , Sp ²⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ³⁺ , Co ³⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺						MAIN ABSORBING GASES						
CO, CO ₂ , SO ₂ , H ₂ , NH ₃ , HCHO, Ar, O ₂ N ₂ , H ₂ S, He, K												
freon, formaldehyde, mercaptanes												

with 2% Zeolite P during the spring time main cultivation, at humic content >2%, the OMC dose can be reduced to 2 tons/ha, – at contamination level > 5 Ci/km² (185 kBq/m²), the dose of Zeolite in OMC should be increased from 2% to 5%.

Ukrainian technology of the soil cleaning. The technologies that envisage removing arable layer of muddy soil, its washing, drying, enriching and return on the fields need the expenses about 1-3 million USD/ha. Thus, as it is appropriately noted in the advertisement on the web-site of International firm “Terra Humana Clean Technology Engineering Ltd” (USA – Sweden – Hungary) that executes these works, the soil as a result of such washing becomes biologically dead. In “cleaning” by our technology there is no requirement for removing the muddy soil, for the process of “in situ” it is necessary on the average from 2 to 4 tons of Zeolite composites that can be evenly sent flying on an arable soil layer or brought in small holes under vegetable sprouts.

By the way, mixing the soil washed by technology of “Terra Humana” with OMC would be the mean for partial renewal of soil quality (anyway such soil needs to be enriched by black soil!).

Our experience in the soil cleaning. Beginning from 1994 the organo-mineral composites and selective sorbents have been created and tested for providing an ecologically clean management on muddy soils, including cleaning the soil in Budapest suburb polluted by the emissions of storage-battery plant. Numerous tests were done at the Institute of Phytophysiology and Genetics of NAS of Ukraine (1995), at Agrarian University in Godolle (Hungary, 1996), at Institute of agroindustrial production of Academy of agrarian sciences of Ukraine in Transcarpathia (1996-98). In 1998 by order of the Ministry on emergencies of Ukraine a pilot project was successfully executed for rehabilitation of 100 hectares of the territories contaminated by radionuclides. Recommendations have been worked out for use of organo-mineral composites for the return of radioactive-muddy territories in productive land tenure [13].

The results of analysis of soil probes on the contents of heavy metal cations, mg/kg:

Results of analysis of ground probes on the contents of heavy metals cations, mg/kg

	Elements							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Before processing	89	7,4	6,7	960	<0,1	10	1790	1520
After processing	14	1,9	2,6	210	<0,1	4,7	578	369

The probes of soil polluted by emissions of battery plant (Nagyteteny – a Budapest suburb) are subjected

to processing. In the Table above the cations’ content in soil probes during 8 hours after mixing with “Zeolite P” in ratio 10:1 a surplus of increase a crop capacity of agriculture due to using the organo-mineral composites is shown.

– Name of culture: Increase of harvest, centner/hectare

- Potatoes 30-46
- Cucumbers 62-71
- Cabbage 9-12
- Tomatoes 8-12
- Pepper sweet 6-9
- Eggplants 28

The tests were made on experimental base of Transcarpathian Institute of Agriindustrial complex AAS of Ukraine (Trop L.)

Zeolite organo-mineral composites. Organo-mineral composites on the base of modified Zeolite-containing minerals raise an efficiency of agricultural production on 25-60 %. Selective sorbents on the natural basis (Zeolite P or A) intended for cleaning of soils from heavy metal cations, radionuclides and ensuring the conditions of the ecologically pure husbandry.

Treatment of soils contaminated by radionuclides nearly 100 ha of soil in Zhytomir province (Ukraine) polluted by 2-5 Ci/km² Cs137 and Sr90 was done by a mixture of organo-mineral composite (OMC) and Zeolite P, which prevents the transition of toxic cations and radionuclides (strontium) into ground water and biomass by 3-4 times. In 1999 on the order of Ukrainian Research institute of agricultural radiology the parties of organo-mineral composites were made for the prolonged and selective action that was later on tested as means of decontamination in the conditions of field experiments.

Production of the organo-mineral composites and selective sorbents

Block-diagram of the plant for production of the selective sorbents, OMC and fire-extinguishing powders is shown in Fig. 1:

In 1999–2002 an OMC was produced for common experiments with the Hungarian scientists (within framework of international cooperation by the grant of Ukrainian Department of education) and for continuation of the field researches. In this period on the soils with the different degree of contamination the wide approbation of OMC was realized for the conduct of ecologically clean land-tenure and increases productivity.

The important role of OMC in the question of counteraction to a global warming consists of recultivation of bad soils, in planting of greenery of

the deserted regions in particular. Taking into account the soil and climatic features of such territories, on the basis of modified natural zeolites the totally sufficient organo-mineral composite, which allows developing the sprouts of the plants without additional feed and watering during the long period is created [11].

Creation of an industrial production for the three mutually constrained technological lines for producing the selective sorbent, organo-mineral composites and even fire-extinguishing powders on the basis of zeolite, as raw material, and utilization of intermediate products, is planned. The chart of production makes fast reimbursement of the investment and the plant is fully zero-emission (non-waste production). The Great Russian chemist D. Mendelejev said that “there are no industrial wastes; there is only the badly processed raw material”. In the indicated chart the wastes of one line are the raw material for other line, and working waters are corrected for obtaining the secondary products.

The scopes of this article do not allow to go into detail of the got results but, if shortly, the data of our works confidently confirmed a high efficiency of using an OMC and selective sorbents on the basis of modified natural zeolites (of Carpathian deposits) for binding the heavy metal cations and radionuclides into complexes that are not washed in a water environment, directly in a soil. Strictly speaking, this recultivation technology is not only "cleaning"

the muddy soil but, what is more, it makes "defence" of subsoil waters and biomass against penetration of toxic elements. The particles of fine-dispersed Zeolite-containing substances are concentrating the cations that become more accessible for the rootage of industrial crops (long-term herbares, lupin and other) on the next stages of crop rotation.

For the sake of life on the Earth the humanity must do a lot and very fast. Exigent integration of all resources and facilities of planet, especially from developed, front-rank countries, for development and practical realization of technologies for survival, or simply speaking for renewal the green planet is needed urgently. Otherwise only the microorganisms – the first colonialists of planet – will survive.

We wish a health and progress to our great-grandchildren. For the moment a few ideas are discussed for elaboration and implementation, for example:

- to create and place on an orbit the "sunny sail" for the managed screening of solar radiation over the problematic regions (with the presence of ozone holes);
- to plant trees and shrubs (but reasonably, taking into account an albedo) sterile territories and clear the sources of drinking-water;
- to begin realization an ideology of the "sunny Vegetariums" able to feed a population by the products compactly grown including in the condition

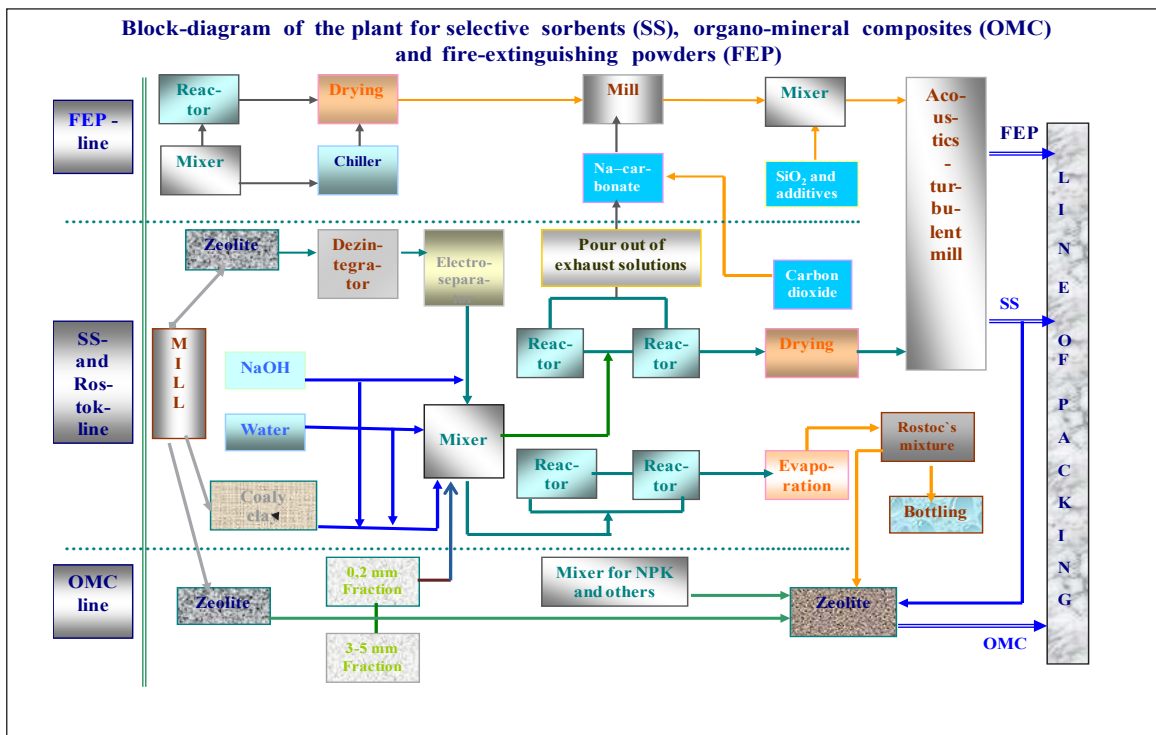


Fig. 1. Block-diagram of plant for the production of selective sorbents, organo-mineral composites and fire-extinguishing powders

of territorial isolation, with simultaneous recultivation and preservation of the landed resources in behalf on subsequent generations;

– to put covering force on the way of thoughtless decision making of bowels of the Earth and to compel a petroleum mafia and petroleum lobby (including Parliament of Ukraine) to sponsor a development of alternative energy...

It is a minimal list of practical ecology tasks, and their solution will allow the modern Humanity expecting a survival and progress. Realization of intellectual part of these extraordinarily important tasks is fully feasible even by forces of the small Institute or scientific and production firm.

Our achievement in production of the new unique materials based on Zeolite

Our achievements in the area of development and production of the new materials and technologies for ecological orientation prepared a base for realization of idea on creation the fully reserved zero-emission chart of the autonomous vital functions and self-providing on the muddy, as well as sterile territories. In particular, it was worked out the chart of an ecologically clear settlement for 5 thousand persons (1,5 thousand families) that even in sterile regions may fully provide themselves by ecologically pure foodstuffs (vegetable, meat and milk, mushrooms, phyto-preparations, even by high-protein meat of snails), by water and alternative energy-carriers due to functioning of helio-glasshouses, adsorbing system for water-treatment including the water demineralization solutions by the drinkable standards, pyrolysis system for complex processing of bio-wastes, etc.. Surpluses of products can be realized at the free market. In this

connection, it would be worth-while to remind that the well-known English science-fiction writer Arthur Clark predicted for 2045 the creation of dwelling of the fully closed cycle with complete self-providing and with processing of bio-waste. The necessity of self-providing for habitants determines inevitability of people's activity in such socio-eco-settlements. It have to assist the increase of intellectual and productive culture that creates the backgrounds for development of creativity and initiative of population and is a necessity though not sufficient. And it is a condition for democratization of the community groups of population in the settlements.

Conclusions. We have to conclude that we believe it would possible in a way described here to support the ecology and help the Earth cope with ecological prob-lems, which appeared during the last century and critically increased during a few last decades. The Humanity would get the guarantees due to such activity for further existence without all destroying cataclysms, for implementation and enriching of energy-information space. Thus, one aspect of possible counteraction of Humanity to the consequences of global climate change has been fragmentary considered. The offered measures are based on a wide and skilled application of inexhaustible mineral supplies of the planet and have an ecology-economical meaningfulness, as pursue not only possibility for prevention of the negative consequences of anthropogenic activity but also largely decisions a food problem, in particular in developing countries. ***An additional feature of such approach is prevention of mass migration of population from unhappy regions!***

References:

1. Lovelock J. The revenge of Gaia. – London: Allen Lane, 2006.– 177 pp.
2. Kazachkov I.V., Konovalikhin M.J. A Model of a Steam Flow through the Volumetrically Heated Particle Bed // Int. J. of Thermal Sciences. – 2002. – Vol. 41. – P. 1077 – 1087.
3. Kazachkov I.V. Modern status and some problems of the severe accidents' modeling on foreign NPP// Nuclear and Radiation safety.- 2003.- № 1.- P. 25 – 34. (In Russian).
4. Kazachkov I.V., Mogaddam Ali Hassan. Modeling of thermal hydraulic processes during severe accidents at NPP. – K.: NTUU «KPI», 2008. – 172 c. (In Russian).
5. Sytnik K., Bagnjuk V. Biosphere and climate: the past, present time and future. – Ann. of NAS Ukraine. – 2006, № 9, P. 3–20 (in Ukrainian).
6. Climate of Ukraine/ Eds. V.M. Lipinsky et. all.– Kyiv: Publishing house of Rajevsky, 2003. – 343 pp. (in Ukrainian).
7. Lorinus C., Oeschger H. Climate change. Paleoperspectives: reducing uncertainties in global change? // AMBIO.– 1994.– v. 23, № 1, P. 30–36.
8. Man and climate// Ecology and life, 2006, № 6, P. 10-16 (in Russian).
9. Ivanchuk L. Global warming for our village // The Grain, 2006, № 2, P. 40–45 (in Russian).
10. Ereমেjev V., Efimov V. Regional aspects of global change of climate // Ann. NAS Ukraine.– 2003, № 2, P. 14–19 (in Ukrainian).

11. Sobolev W., Ilyin V., Bobonich F., Barany S. Application of sorbent composites on natural Zeolite basis for contaminated territories rehabilitation/13th International Zeolite Conf. – Montpellier, France. – July 8–13, 2001. Session “Environment-Friendly Application of Zeolites”, № 31 – P 5.

12. Sobolev W. About possibilities for the productive use of muddy soils due to organo-mineral composites with the sorbents of selective action // Inventor and rationalizer, Pub. of UkrAS, 2005, № 10(48), P. 15–17 (in Ukrainian).

13. Patents of Ukraine №№ 27981 (Bull. №5 from 2000, 16.10), 40894 A (Bull. №7 from 2001, 15.08), 50223 A (Bull. №10 from 2002, 15.10) (in Ukrainian).

14. The soil composite for technogenic muddy and sterile grounds of deserted territories. – Patent of Ukraine №99999 from 2012, 25.10. Bull. №20/ Sobolev W., Korbut N., Kotljarenko V. (in Ukrainian).

ПРАКТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Коротко розглянутий один з аспектів можливої протидії наслідкам глобальної зміни клімату. Запропоновані засоби базуються на широкому і високопрофесійному застосуванні деяких невичерпних мінеральних ресурсів планети, що має еколого-економічну значущість, а також не тільки забезпечує захист від негативних наслідків антропогенної діяльності у світі, але і сприяє вирішенню проблем харчового виробництва, зокрема, для країн, що розвиваються. Додатковою рисою такого підходу є попередження масової міграції населення із неблагополучних регіонів.

Ключові слова: забрудненість ґрунтів і вод, глобальна зміна клімату, біоагровиробництво, цеоліт модифікований.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Кратко рассмотрен один из аспектов возможного противодействия последствиям глобального изменения климата. Предложенные средства основаны на широком и высокопрофессиональном использовании некоторых неисчерпаемых минеральных ресурсов планеты, что имеет эколого-экономическую значимость, а также не только обеспечивает защиту от негативных последствий антропогенной деятельности в мире, но и содействует решению проблем пищевого производства, в частности, для развивающихся стран. Дополнительной чертой такого подхода является предупреждение массовой миграции населения из неблагополучных регионов.

Ключевые слова: загрязненность ґрунтов и вод, глобальное изменение климата, биоагропроизводство, цеолит модифицированный.

Соколовська Н.І.

Департамент забезпечення взаємодії з Верховною Радою України та регіонами Кабінету Міністрів України

Кузьменко Б.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ: ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ

Енергетична безпека (ЕнБ) є одним із найважливіших складників національної безпеки. Всі відносини між учасниками ЕнБ повинні перебувати у правовій сфері, тобто бути підкріплені чинним законодавством без можливості двоякого тлумачення. Для цього необхідне створення комплексного енергетичного Закону про енергетичну політику, який має системно врегулювати вимоги до енергетичної безпеки України і визначити правові механізми її забезпечення. Планування розвитку систем регіонального енергозабезпечення повинно здійснюватися центральними і регіональними органами влади на підставі розроблення і взаємопогодження перспективних програм забезпечення соціально-економічного розвитку кожного з регіонів і країни загалом.

Ключові слова: енергетична безпека, держава, регіони, політика.

Постановка проблеми. Енергетична безпека (ЕнБ) є одним із найважливіших складників національної безпеки. Всі відносини між учасниками ЕнБ мають перебувати у правовій сфері, тобто бути підкріплені чинним законодавством без можливості двоякого тлумачення. Для цього необхідне створення комплексного енергетичного Закону про енергетичну політику, який має системно врегулювати вимоги щодо енергетичної безпеки України та визначити правові механізми її забезпечення. Планування розвитку систем регіонального енергозабезпечення повинно здійснюватися центральними та регіональними органами влади на підставі розроблення та взаємопогодження перспективних програм забезпечення соціально-економічного розвитку кожного з регіонів та країни загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-методологічні засади гарантування енергетичної безпеки України відображені у працях В. Баранніка, А. Гальчинського, В. Геєця, І. Заремби, М. Земляного, М. Ковалка, Л. Криво-

руцького, В. Ксьонзенко, В. Ліра, С. Пирожкова, В. Саприкіна, Б. Стогнія, О. Суходолі, А. Сухорукова, В. Точіліна, А. Шевцова, А. Шидловського. Але попри велику кількість ґрунтовних наукових та науково-практичних досліджень у цій сфері (зокрема, [3–6]) законодавчо не підкріплені відносини між учасниками сфери енергетичної безпеки без можливості двоякого тлумачення.

Метою статті є аналіз правових аспектів у сфері енергетичної безпеки України та пошук шляхів удосконалення правового регулювання енергетичної безпеки України.

Виклад основного матеріалу. Енергетична безпека (ЕнБ) є одним із найважливіших складників національної безпеки, необхідною умовою забезпечення сталого розвитку держави. Енергетична безпека передбачає досягнення стану технічно надійного, стабільного, економічно ефективного та екологічно безпечного забезпечення енергетичними ресурсами економіки і соціальної сфери держави¹.

Адміністративно-територіальний поділ території України характеризується суттєвими відмінностями регіонів за основними показниками соціально-економічного та екологічного стану, в тому

¹ Основні напрями державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки, схвалені Указом Президента України від 27.12.2005 р. № 1863

числі і в частині виробництва (власного енергетичного природо-ресурсного та виробничого потенціалів) і споживання основних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР: вугілля, природного газу, нафти та нафтопродуктів) та енергії (електричної та теплової).

Для сталого енергозабезпечення регіонів України були створені розгалужені загальнодержавні мережі транспортування енергоресурсів (’об’єднана електроенергетична система країни, єдина система транспортування та розподілу нафти та природного газу). Водночас значний рівень енергозабезпечення (насамперед – тепловою енергією) міст та великих населених пунктів, забезпечення котельно-пічним паливом (селищ та невеликих міст – природним та стисненим газом, сортовим вугіллям, а деколи і дровами) залишається у межах компетенції регіональних органів влади й вимагає формування та ефективної реалізації власної регіональної політики енергозабезпечення.

Існують і специфічні риси економіко-енергетичного розвитку регіонів, які впливають на стан забезпечення ЕнБ: у регіонах функціонує складна динамічна система об’єктів, що мають різні форми власності та різний рівень підпорядкування (від приватних та муніципальних до загальнодержавних), що значною мірою обмежує ступінь впливу регіональної влади на стан забезпечення ЕнБ регіону. У загальному плані це визначає необхідність урегулювання взаємин між органами управління, насамперед – збалансованості загальнонаціональних та регіональних інтересів. Планування розвитку систем регіонального енергозабезпечення повинно здійснюватися центральними та регіональними органами влади на підставі розроблення та взаємопогодження перспективних програм забезпечення соціально-економічного розвитку кожного з регіонів та країни загалом.

Варто зазначити, що ЕнБ має враховувати інтереси наступних поколінь, тобто мати довгостроковий та поступальний характер розвитку. Всі відносини між учасниками ЕнБ мають перебувати у правовій сфері, тобто бути підкріплені чинним законодавством без можливості двоякого тлумачення [5–6].

В українському законодавстві закріплене вузьке розуміння енергетичної безпеки – безпека енергопостачання.

Стаття 17 Конституції України визначає, що захист суверенітету і територіальної цілісності України, забезпечення її економічної та інформаційної безпеки є найважливішими функці-

ями держави, справою всього народу України. Забезпечення цієї функції покладається на Раду національної безпеки й оборони України. Також доцільно звернутися до Закону України «Про основи національної безпеки України» від 19.06.2003 р. № 964 – IV. У цьому акті наводиться поняття національної безпеки – захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства і держави, за якої забезпечуються сталий розвиток суспільства, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз національним інтересам у сферах правоохоронної діяльності, боротьби з корупцією, прикордонної діяльності та оборони, міграційної політики, охорони здоров’я, освіти та науки, науково-технічної та інноваційної політики, культурного розвитку населення, забезпечення свободи слова та інформаційної безпеки, соціальної політики та пенсійного забезпечення, житлово-комунального господарства, ринку фінансових послуг, захисту прав власності, фондових ринків і обігу цінних паперів, податково-бюджетної та митної політики, торгівлі та підприємницької діяльності, ринку банківських послуг, інвестиційної політики, ревізійної діяльності, монетарної та валютної політики, захисту інформації, ліцензування, промисловості та сільського господарства, транспорту та зв’язку, інформаційних технологій, енергетики та енергозбереження, функціонування природних монополій, використання надр, земельних та водних ресурсів, корисних копалин, захисту екології і навколишнього природного середовища та інших сферах державного управління у разі виникнення негативних тенденцій до створення потенційних або реальних загроз національним інтересам.

Ми бачимо, що в цьому визначені енергетична безпека є складником національної безпеки, а якщо точніше, то вона є структурним елементом економічної безпеки. Такого висновку можна дійти на основі аналізу ст. 8 вищенаведеного закону, в якій визначаються основні напрями державної політики з питань забезпечення національної безпеки. В економічній сфері одним із напрямів є забезпечення енергетичної безпеки на основі сталого функціонування і розвитку паливно-енергетичного комплексу, в тому числі послідовного й активного проведення політики енергозбереження та диверсифікації джерел енергозабезпечення.

Енергетична безпека має інтегральний характер і є складною інфраструктурою, яка покликана забезпечити нормальне функціонування і розвиток держави та суспільства.

В Енергетичній стратегії України на період до 2030 року, схваленій Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р, також визначено, що енергетична безпека України – це спроможність держави забезпечити ефективне використання власної паливно-енергетичної бази, здійснити оптимальну диверсифікацію джерел і шляхів постачання в Україну енергоносіїв для забезпечення життєдіяльності населення та функціонування національної економіки у режимі звичайного, надзвичайного та стану війни, попередити різкі цінові коливання на паливно-енергетичні ресурси або ж створити умови для безболісної адаптації національної економіки до нових цін на ці ресурси на світових ринках.

Енергетична безпека передбачає досягнення стану технічно надійного, стабільного, економічно ефективного та екологічно безпечного забезпечення енергетичними ресурсами економіки і соціальної сфери держави.

Енергетична безпека є невід’ємним складником національної безпеки держави, а ефективна політика забезпечення енергетичної безпеки через покращення стану об’єктів енергетики здійснює позитивний вплив на ситуацію в економіці держави.

Основні загрози енергетичній безпеці держави та напрями її зміцнення докладно описані в Основних напрямках державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки України, схвалених Указом Президента України від 27.12.2005 р. № 1863.

Рівень енергетичної безпеки оцінюється згідно з методикою, розробленою Міністерством економічного розвитку і торгівлі. Для забезпечення енергетичної безпеки необхідне досягнення та підтримання заданих у Методиці порогових значень індикаторів [2–3].

Прогнозування зазначених індикаторів, порогових значень та рівня економічної безпеки України у середньостроковій перспективі здійснено в аналітичній доповіді.

Енергетична безпека містить такі індикатори, як:

- енергоємність економіки, кг н.е. / \$ ВВП (за паритетом купівельної спроможності) (D);
- рівень тіньового споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), % ВВП (D);
- рівень інвестування підприємств паливно-енергетичного комплексу, % від випуску ПЕК (S);
- рівень оновлення основних засобів підприємств паливно-енергетичного комплексу, % (S);

– частка домінуючого паливного ресурсу у споживанні ПЕР (природний газ), % (D);

– частка імпорту газу з однієї країни у загальному обсязі його імпорту, % (D);

– частка імпорту нафти з однієї країни у загальному обсязі її імпорту, % (D);

– частка власних джерел у балансі ПЕР, % (S).

Енергоємність валового внутрішнього продукту – узагальнюючий макроекономічний показник, що характеризує рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту та є однією з фундаментальних характеристик для економіки кожної країни. Енергоємність ВВП визначається як відношення загальних обсягів споживання паливно-енергетичних ресурсів виробничою та невиробничою сферами до ВВП країни за певний період [7].

За різними оцінками рівень енергоємності в Україні є одним із найбільш високих навіть порівняно з країнами СНД.

Варто зазначити, що оновлена версія Енергетичної стратегії значною мірою констатує проблему, але не пропонує шляхи вирішення, які, на наш погляд, містилися у попередній версії Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, схваленій Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р, в якій, зокрема, передбачалося створення комплексного енергетичного Закону про енергетичну політику, який мав встановити уніфіковані підходи до термінології, передбачити основні засади правового регулювання всієї енергетики, визначити національні інтереси у цій сфері, встановити правила діяльності усіх учасників енергетичних відносин (як держорганів, так і суб’єктів господарювання) на засадах справедливості, недискримінаційності та прозорості, передбачити вимоги до підготовки та реалізації законодавчих актів і програмних документів. У подальшому такий Закон мав стати основою енергетичного права України.

Зазначений Закон мав системно врегулювати вимоги щодо енергетичної безпеки України та визначити правові механізми її забезпечення.

Найбільш ганебним, на нашу думку, є наявність індикатора щодо рівня тіньового споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), % ВВП. На відміну від інших постсоціалістичних країн та країн ЄС, Україна зберігає неприйнятно високий, з огляду на національну конкурентоспроможність, рівень енергозатрат.

Розв’язання зазначеного питання буде проблематичним без наявності Закону про енергетичний аудит та про енергетичний менеджмент та/

або розроблення розширеного розділу у базовому Законі «Про енергозбереження» чи у Законі «Про енергоефективність», який вже розробляється протягом 8 років.

Згідно з положеннями Енергетичної стратегії України до 2030 року щодо зменшення енергоємності ВВП та збільшення рівня енергозабезпеченості країни, Указу Президента України від 27 грудня 2005 р. № 1863 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 9 грудня 2005 року "Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної політики у сфері її забезпечення"» передбачено розроблення та затвердження нормативно-правових та нормативних актів щодо формування енергетичного балансу держави та порядку створення Державної системи моніторингу показників енергетичного балансу. Для підвищення рівня енергетичної безпеки доцільно розробити та прийняти Закон про енергетичний баланс.

Це дасть змогу забезпечити розроблення (формування) енергетичного балансу та проведення моніторингу його показників, об'єднати статистичні та адміністративні інформаційні потоки органів виконавчої влади з метою визначення об'єктивних обсягів постачання первинних енергоносіїв та кінцевого споживання енергоресурсів і зосередити спільні зусилля на ключових напрямках підвищення енергоефективності в Україні, створенні системи забезпечення належного рівня енергетичної безпеки держави.

Висновки. Енергетична безпека (ЕНБ) є одним із найважливіших складників національної безпеки, необхідною умовою забезпечення сталого розвитку держави та має інтегральний характер, є складною інфраструктурою, яка покликана забезпечити нормальне функціонування і розвиток держави та суспільства.

Енергетична безпека (ЕНБ) має враховувати інтереси наступних поколінь, тобто мати довгостроковий та поступальний характер розвитку.

Всі відносини між учасниками ЕНБ мають перебувати у правовій сфері, тобто бути підкріплені чинним законодавством без можливості двоякого тлумачення.

Створення комплексного енергетичного Закону про енергетичну політику має системно врегулювати вимоги щодо енергетичної безпеки України та визначити правові механізми її забезпечення.

Необхідним є розроблення та прийняття Закону про енергетичний аудит та про енергетичний менеджмент та/або розроблення розширеного розділу у базовому Законі «Про енергозбереження» або у Законі «Про енергоефективність».

Потрібно також розробити та прийняти Закон про енергетичний аудит з метою забезпечення формування енергетичного балансу та проведення моніторингу його показників, об'єднати статистичні та адміністративні інформаційні потоки органів виконавчої влади з метою визначення об'єктивних обсягів постачання первинних енергоносіїв та кінцевого споживання енергоресурсів.

Економіко-енергетичний розвиток регіонів впливає на стан забезпечення енергетичної безпеки (ЕНБ) регіону. У регіонах функціонує складна динамічна система об'єктів, що мають різні форми власності та різний рівень підпорядкування (від приватних та муніципальних до загальнодержавних), що значною мірою обмежує ступінь впливу регіональної влади на стан забезпечення ЕНБ регіону.

Енергетична безпека (ЕНБ) регіону передбачає врегулювання взаємин між органами управління, збалансованість загальнонаціональних та регіональних інтересів.

Планування розвитку систем регіонального енергозабезпечення повинно здійснюватися центральними та регіональними органами влади на підставі розроблення та взаємопогодження перспективних програм забезпечення соціально-економічного розвитку кожного з регіонів та країни загалом.

Список літератури:

1. Закон України «Про основи національної безпеки України» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 39, ст. 351).
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/documentid=260994> (дата звернення 18.03.14).
3. Енергетична безпека України: стратегія та механізми забезпечення / за ред. А.І. Шевцова. – Дніпропетровськ : Пороги, 2002. – 264 с.
4. Забезпечення енергетичної безпеки України / [С.М. Бевз, Д.В. Волошин, О.І. Закревський та ін.]. – К. : НІПМБ, 2003. – 264 с.
5. Стогній Б.С. Енергетична безпека України. Світові та національні виклики / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2006. – 408 с.

6. Энергетична безпека України: оцінка та напрями забезпечення / за ред. Ю.В. Продана, Б.С. Стогнія. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. – 400 с.
7. Харзішвілі Ю.М. Дронь. Є.В. – К.: НІСД, 2014. – 117 с. Електронна версія: <http://www.niss.gov.ua/>.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОСУДАРСТВА И РЕГИОНОВ: НЕКОТОРЫЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

Энергетическая безопасность (ЭнБ) является одной из важнейших составляющих национальной безопасности. Все отношения между участниками ЭнБ должны находиться в правовой сфере, то есть быть подкреплены действующим законодательством без возможности двоякого толкования. Для этого необходимо создание комплексного энергетического Закона об энергетической политике, который должен системно урегулировать требования к энергетической безопасности Украины и определить правовые механизмы ее обеспечения. Планирование развития систем регионального энергообеспечения должно осуществляться центральными и региональными органами власти на основании разработки и взаимосогласования перспективных программ обеспечения социально-экономического развития каждого из регионов и страны в целом.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, государство, регионы, политика.

ENERGY SECURITY OF THE STATE AND REGIONS: SOME REGULATORY AND LEGAL ASPECTS

Energy security (EnB) is one of the most important components of national security, relations between all participants EnB should be in the legal field that is to be backed by applicable law without the possibility of two interpretations. This requires the establishment of comprehensive energy law on energy policy, which has a system to regulate the requirements for the energy security of Ukraine and determine the legal mechanisms of support; Planning the development of regional energy should be central and regional authorities on the basis of development promising programs for social and economic development of each region and country.

Key words: energy security, state, regions, politics.

Відомості про авторів

Гусинін А.В. – кандидат технічних наук, доцент, аналітик з комп'ютерних комунікацій ТОВ «Тич Консалтинг Україна»;

Дичко А.О. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко В.О. – доктор фізико-математичних наук, професор Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут»;

Єремєєв І.С. – доктор технічних наук, професор Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кисельов В.Б. – доктор технічних наук, професор Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Б.В. – доктор технічних наук, професор Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Левченко В.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент Національного університету харчових технологій;

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Новіков В.І. – старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Распопов В.Б. – кандидат фізико-математичних наук, доцент Науково-навчального центру прикладної інформатики Національної академії наук України;

Романюк А.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Соколовська Н.І. – заступник директора Департаменту забезпечення взаємодії з Верховною Радою України та регіонами Кабінету Міністрів України, начальник Управління взаємодії з Верховною Радою України;

Туранська О.С. – студентка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Явіся В.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 28 (67) № 2 2017

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 5,91. Ум.-друк. арк. 8,14.

Підписано до друку 30.08.2017. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.