



ISSN 2413-5364

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

---

# **Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті**

---

*Науково-технічний журнал*

**№4 2016**

*Заснований у 2014 році*

Київ – 2016

УДК 004; 656; 621

**Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті.  
Науково-технічний журнал. Випуск 4, 2016**

Заснований у 2014 р. Виходить 4 рази на рік.

У науковому журналі «Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті» публікуються матеріали, які висвітлюють основні результати наукової та науково-технічної роботи, що спрямована на розробку та удосконалення інформаційних процесів, технологій та систем для підвищення ефективності роботи всіх видів транспорту та інфраструктури дорожнього комплексу України та інших держав.

ISSN 2413-5364

**Головний редактор – М.Ф. Дмитриченко**

**Редакційна колегія:**

д.т.н., проф. **М.М. Дмитрієв** (заступник головного редактора);

д.т.н., проф. **Аль-Амморі Алі** (заступник головного редактора);

д.ф.-м.н., проф. **В.Д. Данчук**; д.ф.-м.н., проф. **В.В. Гавриленко**; д.т.н., проф. **Т.А. Воркут**; д.т.н., проф. **В.П. Поліщук**; д.т.н., проф. **Г.С. Прокудін**; д.т.н., проф. **О.Л. Петрашевський**; д.т.н., проф. **Г.Л. Баранов**; д.т.н., проф. **Р.А. Хабутдінов**; к.т.н., проф. **О.І. Мельниченко**; д.т.н., с.н.с. **М.М. Степанов**, Державний університет телекомунікацій; д.т.н., проф. **О.М. Трофімчук**, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; д.е.н., проф. **Т.О. Прима**, Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана; д.т.н., проф. **О.Л. Ляхов**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка; д.т.н., проф. **А.А.Тимченко**, Черкаський державний технологічний університет; д.т.н., проф. **В.Є. Снитюк**, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; д.т.н., проф. **О.Г. Корченко**, Національний авіаційний університет; д.т.н., проф. **А.В. Гайдачук**, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського; д.т.н., проф. **А.П. Марченко**, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"; д.т.н., проф. **Ю.М. Тесля**, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; д.т.н., проф. **О.Г. Оксіюк**, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; д.т.н., проф. **В.В. Біліченко**, Вінницький національний технічний університет; д.т.н., проф. **В.С. Харченко**, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського; д.т.н., проф. **Д.Д. Пелешко**, Національний університет "Львівська політехніка"; д.т.н., проф. **В. Я. Негрей**, Білоруський державний університет транспорту, Білорусія; д.т.н., проф. **Г.М. Кухарьонюк**, Білоруський національний технічний університет, Білорусія; Prof. Dr. **Klaus Rosenthal** (Клаус Розенталь), University of Paderborn, Germany; Prof. Dr. **Richard Fortmyuller** (Річард Фортмюллер), Vienna University of Economics and Business Administration, Austria; Dr. **Guido Kaufmann** (Гідо Кауфман), University of Paderborn, Germany; Dr. **Vyacheslav Nikitin** (Вячеслав Никитін), University of Paderborn, Germany; Prof. Dr. **Jana Kucerova** (Яна Кучерова), Matej Bel University, Banska Bystrica, Slovakia; Prof. Dr. **Miroslaw Smieszek** (Мірослав Смешек), Rzeszowska Politechnika, Poland; Prof. Dr. **Kazimirz Lejda** (Казімір Лейда), Rzeszowska Politechnika, Poland.

**О. П. Тимченко** асистент, відповідальний секретар редколегії

**Затверджено:** Вченою радою Національного транспортного університету (протокол № 13 від 27.12.2016 р.)

**Адреса редколегії:** 01010, Україна, м. Київ, вул. Суворова 1.

Національний транспортний університет, тел.: +38(044) 280 7066

e-mail: [iptst.ntu@gmail.com](mailto:iptst.ntu@gmail.com); <http://www.ntu.kar.net/ukraine/nauka/its.htm>

**Зареєстровано:** Державним комітетом телебачення та радіомовлення України.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21288-11088Р від 26.03.2015 р.

**Засновник, видавець та виготовлювач:** Національний транспортний університет.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1218 від 30.01.2003 р.

**Адреса видавця:** 01010, Україна, м. Київ, вул. Суворова 1, тел.: +38(044) 280 7066

Адреса виготовлювача: Національний транспортний університет, редакційно-видавничий відділ,  
01103, Україна, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39, тел.: +38(044) 284 2626, e-mail: [nturv@gmail.com](mailto:nturv@gmail.com)

© Редакційна колегія, 2016

© Національний транспортний університет, 2016

ISSN 2413-5364

УДК 629.735.083.06

UDK 629.735.083.06

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВМАРКОВСЬКОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Аль-Амморі Алі, д.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Цуканов О.І. к.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Аль-Амморі Х.А., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## INFORMATION TECHNOLOGIES FOR RESEARCH SEMI-MARKOV RELIABILITY MODEL OF COMPLEX SYSTEMS

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University Kyiv, Ukraine

Tsukanov O.I., Ph. D, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Al-Ammori H. A., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУМАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Аль-Аммори Али, д.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Цуканов А.И. к.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Аль-Аммори Х.А., аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

У роботах [1, 2] викладена інформаційна технологія дослідження ймовірнісних моделей надійності складних технічних систем. Моделі цих систем описувались за допомогою марковських випадкових процесів. Розглянуті моделі цих систем можуть бути узагальнені для, так званих, напівмарковських випадкових процесів (НМП).

Наведемо визначення НМП. Нехай поведінка деякої системи описується наступним випадковим процесом. У кожний момент часу система може знаходитись в одному із  $n$  можливих фазових станів  $s_1, \dots, s_n$ . При цьому відомі початкові стани системи (у початковий момент часу система може знаходитись у стані  $X_0 = s_i$ ) і однокрокові ймовірності переходів  $p_{ij} = P(X_k = s_j / X_{k-1} = s_i)$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ . Таким чином, процес  $X_j = X(t_j)$  є однорідним ланцюгом Маркова.

Співставимо кожному ненульовому елементу  $p_{ij}$  матриці ймовірностей переходів  $P = [p_{ij}]$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  випадкову величину  $T_{ij}$  з функцією розподілу  $F_{ij}(t) = P(T_{ij} \leq t)$ . Величину  $T_{ij}$ , яка залежить як від стану  $s_i$ , так і від стану  $s_j$ , можна надавати різний фізичний смисл. У теорії надійності і теорії масового обслуговування випадкову величину  $T_{ij}$  зазвичай розглядають як час перебування системи у стані  $s_i$  за умови, що наступним станом, у який переходить система, буде стан  $s_j$ . При цьому величина  $T_{ij}$  вважається невід'ємною і неперервною величиною із щільністю розподілу ймовірностей  $f_{ij}(t)$ . При такій інтерпретації величину  $T_{ij}$  можна назвати часом чекання у стані  $s_i$  до переходу у стан  $s_j$ .

Можна собі уявити, що точка, яка відображає поведінку системи на фазовій площині, залишається у стані  $s_i$  протягом часу  $T_{ij}$ , раніш чим перейти у стан  $s_j$ . При досягненні  $s_j$  миттєво у відповідності із матрицею ймовірностей переходів  $P = [p_{ij}]$  вибирається наступний стан  $s_k$ , і після того як стан  $s_k$  вибрано, час чекання у стані  $s_k$  покладається рівним  $T_{jk}$  з функцією розподілу  $F_{jk}(t)$ . Цей процес слід необмежено продовжити, вибираючи кожний раз незалежно наступний стан і час чекання. Отриманий випадковий процес прийнято називати *напівмарковським*.

Із наведеного визначення випливає, що якщо ігнорувати випадковий характер часу чекання і цікавитись тільки моментами переходів, то процес  $X(t)$  буде представляти собою однорідний ланцюг Маркова (у літературі його часто називають вкладеним ланцюгом Маркова, а у загальному випадку – вкладеним марковським процесом). Однак при врахуванні перебування процесу у різних станах протягом випадкового часу процес  $X(t)$  не буде задовольняти рівнянню Маркова (якщо не всі часи чекання розподілені експоненціально). Таким чином, процес є марковським тільки в моменти переходу.

Стационарний марковський процес з неперервним часом є НМП, у якого тривалості перебування у всіх станах мають експоненціальні розподіли:

$$F_{i,j}(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}, \quad t \geq 0, \quad \lambda_i > 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

При заданому початковому стані подальша поведінка НМП повністю визначається матрицею ймовірностей переходів  $P = [p_{ij}]$ ,  $i, j = 1, \dots, n$  і матрицею функцій розподілу  $F = [F_{ij}(t)]$  часів перебування у станах  $i$ .

Припустимо, що у деякий момент часу, який приймається за початковий ( $t_0 = 0$ ), система знаходиться у стані  $s_i$ . Нехай наступним станом вибрано (з ймовірністю  $p_{ij}$ ) стан  $s_j$ . Тоді за теоремою множення і складання ймовірностей знаходимо функцію безумовного розподілу повного часу перебування системи у стані  $s_i$ :

$$F_i(t) = P(T_i < t) = \sum_{j=1}^n p_{ij} F_{ij}(t), \quad i = 1, \dots, n. \quad \text{або} \quad F_i(t) = \sum_{j=1}^n p_{ij} F_{ij}(t) = \sum_{j=1}^n Q_{ij}(t), \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

де  $Q_{ij} = p_{ij} F_{ij}$ .

При дослідженні надійності великих систем дослідників насамперед цікавлять наступні основні характеристики НМП:

- 1) Середній час до попадання НМП у стан  $i$ .
- 2) Середнє число попадань НМП у стан  $i$  за час  $t$ .
- 3) Стационарні ймовірності станів.

Вкажемо, як виражаються основні ймовірнісні характеристики НМП через параметри вкладеного ланцюга Маркова і умовні функції розподілу  $F_{ij}(t)$ .

**1) Визначення ймовірностей станів НМП.** Нехай  $P_{ij}(t) = P(X(t) = j / X(0) = i)$  є умовна ймовірність того, що в момент часу  $t$  система знаходиться у стані  $s_j$ , якщо в момент часу  $t_0 = 0$  вона була у стані  $s_i$ . Система, стартуючи із початкового стану  $s_i$ , може потрапити у стан  $s_j$  в момент часу  $t$  різними шляхами. По-перше, якщо  $s_i = s_j$ , вона може не покидати стан  $s_i$  протягом всього проміжку часу  $t$  або, виходячи із стану  $s_i$  по меншій мірі коли-небудь, вона все ж таки повертається у стан  $s_j = s_i$  до моменту часу  $t$ . По-друге, система може потрапити в довільний стан  $s_j$ , займаючи в момент часу  $t$  деякий проміжний стан  $s_k$ . Ймовірності цих двох взаємно виключаючи можливостей повинні складатись. Таким чином, для ймовірностей  $P_{ij}(t)$  маємо систему лінійних інтегральних рівнянь

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij} (1 - F_i(t)) + \sum_{k=1}^n \int_0^t P_{kj}(t-u) \frac{dQ_{ik}(u)}{du} du, \quad 1 \leq i, j \leq n. \quad (2)$$

де  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера:  $\delta_{ij} = 1$  при  $i = j$  і  $\delta_{ij} = 0$  при  $i \neq j$ .

Система інтегральних рівнянь (2) дає вираз для перехідних ймовірностей через основні характеристик НМП.

Введемо наступні матриці  $\Pi(t) = [P_{ij}(t)]$ ,  $\Phi(t) = [\delta_{ij}(1 - F_i(t))]$ ,  $Q(t) = [Q_{kj}(t)]$ .

тоді система інтегральних рівнянь у матричному вигляді запишеться так:

$$\Pi(t) = \Phi(t) + \int_0^t \Pi(t-u) \frac{dQ(u)}{du} du. \quad (3)$$

Отримане рівняння у згортках називається багатовимірним рівнянням відновлення і може бути досліджене за допомогою перетворень Лапласа. Одним із його наслідків є теорема про граничне значення перехідних ймовірностей  $P_{ij}(t)$  при  $t \rightarrow \infty$ .



2) **Розподіл часу першого попадання НМП у заданий стан.** Позначимо через  $\mu_i$  безумовне математичне сподівання часу перебування НМП у стані  $i$ :

$$\mu_i = M[T_i] = \int_0^{\infty} t F_i(t) dt \quad (4)$$

і нехай  $M$  – матриця, елементи якої дорівнюють  $\mu_{ij} = \mu_i$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ .

Через  $w_{ij}$  позначимо середній час до першого попадання процесу із стану  $i$  у стан  $j$ . Тоді

$$w_{ij} = \sum_{k \neq j} p_{ik} (\mu_{ik} + w_{kj}) + p_{ij} \mu_{ij},$$

де  $\mu_{ij}$  є середнє значення для розподілу  $F_{ij}(t)$ . Оскільки  $\mu_i = \sum_{k=0}^n p_{ik} \mu_{ik}$ ,

отримуємо

$$w_{ij} = \sum_{k \neq j} p_{ik} w_{kj} + \mu_j,$$

або у матричній формі або

$$W = (w_{ij}) = P(W - W_{dg}) + M,$$

де матриця  $W_{dg}$  отримана із матриці  $W$  шляхом заміни недіагональних елементів нулями.

Якщо всі стани сполучні, то існує вектор  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$  стаціонарних імовірностей для вкладеного марковського ланцюга. Запишемо

$$W = W_{dg} + W_0, \quad \text{і} \quad W_{dg} = (P - I) W_0 + M,$$

де матриця  $L_0$  – отримана із матриці  $L$  шляхом заміни діагональних елементів нулями.

Звідсіль, помноживши обидві частини на  $\pi$ , отримаємо

$$\pi W_{dg} = \pi M \quad \text{або} \quad w_{ii} = \frac{1}{\pi_i} \sum_{k=0}^n \pi_k \mu_k. \quad (5)$$

3) **Середній час до поглинання.** НМП є поглинаючим (ергодичним), якщо відповідний марковський ланцюг, визначений матрицею  $P$ , є поглинаючим (ергодичним) і  $\mu_i < \infty$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Якщо марковський ланцюг включає  $(n - k)$  транзитивних і  $k$  поглинаючих станів, то шляхом відповідної перенумерації станів можна матрицю  $P$  представити у нормалізованому вигляді:

$$P = \begin{bmatrix} I & O \\ R & Q \end{bmatrix},$$

де  $I$  – одинична матриця;  $O$  – нульова матриця;  $R$  – матриця перехідних ймовірностей із нестійких станів у поглинаючі;  $Q$  – матриця переходів із нестійких станів у нестійкі порядку  $(n - k) \times (n - k)$ .

Матриця  $C = (I - Q)^{-1}$  називається фундаментальною матрицею поглинаючого ланцюга Маркова.

Матриця  $C$  дозволяє визначити деякі важливі характеристики ланцюга Маркова.

а) Число попадань у поглинаючий стан  $s_j$  за умови, що у початковий момент часу він знаходився у непоглинаючому стані  $s_i$ , дорівнює елементу  $C_{ij}$  фундаментальної матриці  $C$ ;

б) Середнє число кроків до поглинання за умови, що у початковий момент часу процес знаходився у непоглинаючому стані  $s_i$ , дорівнює сумі елементів  $i$ -го рядка матриці  $C$ ;

с) Середній час до поглинання. Має місце наступна *теорема*: Нехай  $[P, F(t)]$  є поглинаючий НМП з  $k$  поглинаючими станами  $(1, \dots, n)$ , де матриця  $P$  представлена у нормалізованій формі. Середній час до поглинання, якщо початковим станом є стан  $i$  ( $i > k$ ), дорівнює

$$\sum_{j=k}^n m_{ij} \mu_j, \quad \text{де} \quad [m_{ij}] = (I - Q)^{-1}. \quad (6)$$

*Доведення.* Позначимо через  $X_n^{(j)}$  безумовний час перебування процесу у стані  $j$  під час  $n$ -го попадання у цей стан. Тоді  $\{X_n^{(j)}\}_{n=1}^{\infty}$  є послідовність взаємно незалежних випадкових величин, незалежних також і від  $N_{ij}$  – кількості попадань у стан  $j$  до моменту поглинання за умови, що процес починається у стані  $i$ . Таким чином,

$$M\left[\sum_{k=1}^{N_{ij}} X_n^{(j)}\right] = M[X_n^{(j)}]M[N_{ij}] = \mu_i m_{ij}.$$

Зауважимо, що якщо усі стани сполучаються, то можна модифікувати матрицю  $P$  таким чином, щоб один із них став поглинаючим. Таким шляхом можна обчислити середній час до попадання у заданий стан для будь-якого скінченного НМП.

**4) Граничні теореми.** Розглянемо деякі асимптотичні властивості скінчених НМП.

а) Граничні значення  $P_{ij}(t)$  ймовірностей станів НМП визначаються за теоремою Сміта [3]:

Якщо виконані умови: а) для всіх  $i$   $\mu_i < \infty$ ; б) розподіл часу повернення у деякий стан  $k$  не арифметичний; в) вкладений ланцюг Маркова має стаціонарний розподіл  $\{\Pi_i\}$ ;

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ij}(t) = \frac{\mu_j}{w_{jj}}. \quad (7)$$

б) Граничні значення  $n_{jj}(t)$  середнього числа попадань НМП у стан  $j$  протягом інтервалу часу  $[0, t]$  за умови, що він почався із стану  $i$  при  $w_{jj} < \infty$  дорівнюють

$$n_{jj}(t) = \frac{t}{w_{jj}} - 1 + \frac{1}{w_{jj}} \sum_k P_{jk}(t) w_{kj}. \quad (8)$$

Дійсно, обчислюємо двома різними способами середній час між двома першими попаданнями у стан  $j$  по закінченні часу  $t$  за умови, що процес починається із стану  $j$ . Нехай  $X$  є випадкова величина, рівна часу між попаданнями у стан  $j$ . Тоді

$$M[X_1 + X_2 + \dots + X_{N_{jj}(t)+1}] = w_{jj}[n_{jj}(t) + 1],$$

де  $N_{jj}(t)$  – кількість попадань у стан  $j$  протягом інтервалу часу  $[0, t]$  за умови, що процес починається із стану  $j$ .

Використовуючи марковський характер розглядуваного процесу, те ж саме можна записати у вигляді

$$w_{jj}[n_{jj}(t) + 1] = t + \sum_k P_{jk}(t) w_{kj}, \quad (9)$$

Потрібний результат отримується після ділення обох частин рівності на  $w_{jj}$ .

Ці результати можуть бути використані для дослідження складних стохастичних систем, які описуються НМП.

Розглянемо технологію реалізації математичної моделі дослідження надійності комп'ютерної інформаційної системи, розглянутої в [2]. Наведемо опис цієї системи.

Система складається із двох комп'ютерів, включених паралельно. Один із комп'ютерів працює постійно і використовується безпосередньо для вирішення задач, а другий знаходиться у пасивному резерві або проходить профілактичне обслуговування. При виникненні будь-якої несправності у процесі роботи комп'ютера проводиться його ремонт. Профілактичне обслуговування комп'ютерів виконується після  $t_0$  годин наробітку. Система побудована таким чином, що якщо основний комп'ютер відмовляє у той момент, коли друга знаходиться у стані профілактичного обслуговування або ремонту, то система попадає у стан відмови. Зауважимо, що якщо усі стани системи є некритичними, то її можна модифікувати таким чином, що один з них становиться поглинаючим. Таким шляхом можна обчислити середній час до попадання у заданий стан для будь якої системи.

Позначимо один із комп'ютерів символом  $A$ , а другий – символом  $B$ . Тоді можливі стани системи можна позначити наступним чином:

- $A_a(B_a) - A(B)$  є основним комп'ютером;
- $A_s(B_s) - A(B)$  знаходиться у стані резерву;
- $A_p(B_p) - A(B)$  знаходиться у стані профілактичного обслуговування;
- $A_r(B_r) - A(B)$  знаходиться у стані ремонту.

Позначимо через  $t_0$  запланований період до профілактики,  $\tau$  – час проведення профілактики. Припустимо, що час наробітку комп'ютерів у стані основних –  $A_a(B_a)$ , час тривалості профілактики та час проведення ремонту є випадковими величинами з експоненціальними законами розподілів  $F_1(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ ,  $F_2(t) = 1 - e^{-\mu t}$  і  $F_3(t) = 1 - e^{-\nu t}$  з параметрами  $\lambda, \mu$  і  $\nu$  при  $t \geq 0$

На рис. 1 представлена діаграма можливих переходів системи у просторі станів. Всього є 9

можливих станів системи, перенумерованих від 1 до 9. У якості вершин 1–9 візьмемо усі можливі стани системи і проведемо стрілки із кожного стану  $i$  у кожний стан  $j$ , якщо ймовірності переходів  $p_{ij} > 0$ . Наприклад, якщо система знаходиться у стані 1, то це означає, що комп'ютер  $A_a$  використовується у якості основного у той час, як комп'ютер  $B_s$  знаходиться у стані резерву. Якщо протягом часу  $t_0$ , який вимірюється з моменту попадання у стан 1, не виникло відмови, система переходить у стан 2, у якому комп'ютер  $A_a$  переходить у стан профілактики  $A_p$ , а основним стає комп'ютер  $B_a$ . Переходи системи із одного робочого стану у інший відбуваються по периметру графа, зображеного на рисунку. Якщо основний комп'ютер відмовляє (стає на ремонт) в момент, коли другий знаходиться у стані профілактичного обслуговування або ремонту, то система, звичайно, попадає у стан відмови. У розглядуваній системі несприятливими станами є стани 5, 6, 9.

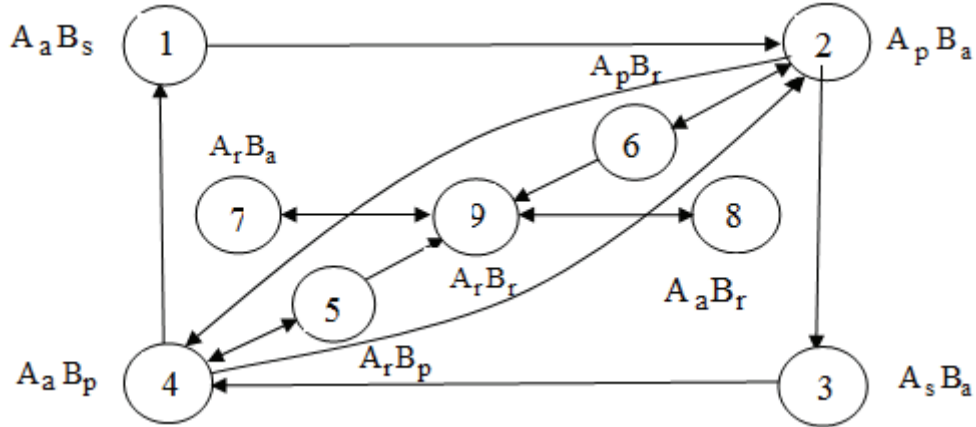


Рисунок 1 – Простір станів і діаграма переходів для системи із двох елементів

Розглядуваний процес представляється марковським неперервним ланцюгом. Слідуючи [2], визначимо ймовірності його переходів [2].

Для визначення ймовірностей переходів, окрім функцій розподілу  $F_1(t)$ ,  $F_2(t)$ ,  $F_3(t)$ , визначимо також функції розподілу мінімуму двох випадкових величин. Позначимо через  $T_x$ , де  $x = (a, s, p, r)$  час знаходження елемента системи  $AB$  у станах  $x$ .

Для  $T_1 = \min(T_a, T_p)$ ,  $T_2 = \min(T_p, T_r)$ ,  $T_3 = \min(T_a, T_r)$ , отримуємо

$$F(t) = F_1(t) + F_2(t) - F_1(t)F_2(t), \quad G(t) = F_2(t) + F_3(t) - F_2(t)F_3(t), \quad H(t) = F_1(t) + F_3(t) - F_1(t)F_3(t).$$

Використовуючи визначені функції розподілу, отримуємо:

$$i = 1 \quad p_{1,1} = P(A_a B_s \rightarrow A_a B_s) = \frac{P(T_a \geq u - 0)}{2} = \frac{1 - F_1(u)}{2} = \frac{e^{-\lambda u}}{2}, \quad (10)$$

$$p_{1,2} = P(A_a B_s \rightarrow A_p B_a) = \frac{P(T_a \geq u + 0)}{2} = \frac{1 - F_1(u)}{2} = \frac{e^{-\lambda u}}{2},$$

$$p_{1,7} = P(A_a B_s \rightarrow A_r B_a) = P(T_a < u) = F_1(u) = 1 - e^{-\lambda u},$$

$$i = 2 \quad p_{2,2} = P(A_p B_a \rightarrow A_p B_a) = P(T_p \geq \tau, T_a \geq \tau) = 1 - F(\tau) = e^{-(\lambda + \mu)\tau},$$

$$p_{2,3} = P(A_p B_a \rightarrow A_s B_a) = P(T_p < \tau, T_a \geq \tau) = F_2(\tau)(1 - F_1(\tau)) = e^{-\lambda\tau}(1 - e^{-\mu\tau}),$$

$$p_{2,6} = P(A_p B_a \rightarrow A_p B_r) = P(T_p \geq \tau, T_a < \tau) = (1 - F_2(\tau))F_1(\tau) = e^{-\mu\tau}(1 - e^{-\lambda\tau}),$$

$$p_{2,8} = P(A_p B_a \rightarrow A_p B_r) = P(T_p < \tau, T_a < \tau) = F_2(\tau)F_1(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau} - e^{-\mu\tau} + e^{-(\lambda + \mu)\tau},$$

$$i = 3 \quad p_{3,3} = P(A_s B_a \rightarrow A_a B_p) = \frac{P(T_a \geq u - 0)}{2} = \frac{1 - F_1(u)}{2} = \frac{e^{-\lambda u}}{2},$$

$$p_{3,4} = P(A_s B_a \rightarrow A_a B_p) = \frac{P(T_a \geq u + 0)}{2} = \frac{1 - F_1(u)}{2} = \frac{e^{-\lambda u}}{2},$$

$$\begin{aligned}
& p_{3,7} = P(A_s B_a \rightarrow A_a B_r) = P(T_a < u) = F_1(u) = 1 - e^{-\lambda u}, \\
i = 4 \quad & p_{4,4} = P(A_a B_p \rightarrow A_a B_p) = P(T_p \geq \tau, T_a \geq \tau) = 1 - F(\tau) = e^{-(\lambda+\mu)\tau}, \\
& p_{4,1} = P(A_a B_p \rightarrow A_a B_s) = P(T_a \geq \tau, T_p < \tau) = (1 - F_1(\tau)) F_2(\tau) = e^{-\lambda\tau} (1 - e^{-\mu\tau}), \\
& p_{4,5} = P(A_a B_p \rightarrow A_r B_p) = P(T_a < \tau, T_p \geq \tau) = F_1(\tau) (1 - F_2(\tau)) = e^{-\mu\tau} (1 - e^{-\lambda\tau}), \\
& p_{4,7} = P(A_p B_a \rightarrow A_p B_r) = P(T_a < \tau, T_p < \tau) = F_1(\tau) F_2(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau} - e^{-\mu\tau} + e^{-(\lambda+\mu)\tau}, \\
i = 5 \quad & p_{5,5} = P(A_r B_p \rightarrow A_r B_p) = P(T_p \geq \tau, T_r \geq \tau) = 1 - G(\tau) = e^{-(\lambda+\nu)\tau}, \\
& p_{5,4} = P(A_r B_p \rightarrow A_a B_p) = P(T_r < \tau) = F_3(\tau) = 1 - e^{-\nu\tau}, \\
& p_{5,7} = P(A_r B_p \rightarrow A_r B_a) = P(T_r \geq \tau, T_p < \tau) = (1 - F_3(\tau)) F_2(\tau) = e^{-\nu\tau} (1 - e^{-\mu\tau}), \\
i = 6 \quad & p_{6,6} = P(A_p B_r \rightarrow A_p B_r) = P(T_r \geq \tau, T_a \geq \tau) = 1 - H(\tau) = e^{-(\lambda+\nu)\tau}, \\
& p_{6,2} = P(A_p B_r \rightarrow A_p B_a) = P(T_r < \tau) = F_3(\tau) = 1 - e^{-\nu\tau}, \\
& p_{6,8} = P(A_p B_r \rightarrow A_a B_r) = P(T_r \geq \tau, T_p < \tau) = F_2(\tau) (1 - F_3(\tau)) = e^{-\nu\tau} (1 - e^{-\mu\tau}), \\
i = 7 \quad & p_{7,7} = P(A_r B_a \rightarrow A_r B_a) = P(T_r \geq u, T_a \geq u) = \frac{1 - H(u)}{2} = \frac{e^{-(\lambda+\nu)u}}{2}, \\
& p_{7,3} = P(A_r B_a \rightarrow A_s B_a) = P(T_r < u, T_a \geq u) = F_3(u) (1 - F_1(0)) = e^{-\lambda u} (1 - e^{-\nu u}), \\
& p_{7,4} = P(A_r B_a \rightarrow A_s B_p) = P(T_r < u, T_a < u) = F_3(u) F_1(u) = 1 - e^{-\lambda u} - e^{-\nu u} + e^{-(\lambda+\nu)u}, \\
& p_{7,5} = P(A_r B_a \rightarrow A_r B_p) = \frac{P(T_r \geq u, T_a \geq u)}{2} = \frac{1 - H(u)}{2} = \frac{e^{-(\lambda+\nu)u}}{2}, \\
& p_{7,9} = P(A_r B_a \rightarrow A_r B_r) = P(T_r \geq u, T_r < u) = (1 - F_3(u)) F_1(u) = e^{-\nu u} (1 - e^{-\lambda u}), \\
i = 8 \quad & p_{8,8} = P(A_a B_r \rightarrow A_a B_r) = \frac{P(T_a \geq u, T_r \geq u)}{2} = \frac{1 - H(u)}{2} = \frac{e^{-(\lambda+\nu)u}}{2}, \\
& p_{8,1} = P(A_a B_r \rightarrow A_a B_s) = P(T_a \geq u, T_r < u) = (1 - F_1(u)) F_3(u) = e^{-\lambda u} (1 - e^{-\nu u}), \\
& p_{8,2} = P(A_a B_r \rightarrow A_p B_s) = P(T_a < u, T_r < u) = F_3(u) F_1(u) = 1 - e^{-\lambda u} - e^{-\nu u} + e^{-(\lambda+\nu)u}, \\
& p_{8,6} = P(A_a B_r \rightarrow A_p B_r) = \frac{P(T_a \geq u, T_r \geq u)}{2} = \frac{1 - H(u)}{2} = \frac{e^{-(\lambda+\nu)u}}{2}, \\
& p_{8,9} = P(A_a B_r \rightarrow A_r B_r) = P(T_a < u, T_r \geq u) = F_1(u) (1 - F_3(u)) = e^{-\nu u} (1 - e^{-\lambda u}), \\
i = 9 \quad & p_{9,9} = P(A_r B_r \rightarrow A_r B_r) = P(T_r \geq u, T_r \geq u) = (1 - F_3(u))^2 = e^{-2\nu u}, \\
& p_{9,7} = P(A_r B_r \rightarrow A_r B_a) = \frac{1}{2} P(T_r \geq u, T_r < u) = \frac{1}{2} (1 - p_{9,9}), \\
& p_{9,8} = P(A_r B_r \rightarrow A_a B_r) = \frac{1}{2} P(T_r < u, T_r \geq t_0) = \frac{1}{2} (1 - p_{9,9}).
\end{aligned}$$

При визначенні перехідних ймовірностей на кожному кроці перевіряємо умову

$$P_i = \sum_{j=1}^n p_{i,j} = 1.$$

При визначенні ймовірностей сумісних подій ми користувались незалежністю часів перебування елементів системи у заданих станах. Наприклад, для стану  $i = 6$  отримуємо:

$$p_{2,3} = P(T_p < \tau, T_a \geq \tau) = P(T_r < \tau) P(T_a \geq \tau) = F_2(\tau) (1 - F_1(\tau))$$

Визначимо тепер функції розподілу і математичні сподівання часів перебування системи у станах  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Визначення функцій розподілу  $F_2(t)$ ,  $F_4(t)$ ,  $F_7(t)$ ,  $F_8(t)$  здійснюємо за формулою суми несумісних подій. Наприклад,

$$F_2(t) = P(T_p < \tau, T_a \geq \tau) + P(T_p \geq \tau, T_a < \tau) + P(T_p < \tau, T_a < \tau) = 1 - e^{-(\lambda+\mu)t}.$$

Функції розподілу:

$$\begin{aligned}
F_1(t) = F_3(t) &= \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & 0 \leq t < u, \\ 1, & t \geq u. \end{cases}; & F_2(t) = F_4(t) &= \begin{cases} 1 - e^{-(\lambda+\mu)t}, & 0 \leq t < \tau, \\ 1, & t \geq \tau. \end{cases}; \\
F_5(t) = F_6(t) &= \begin{cases} 1 - e^{-\nu t}, & 0 \leq t < \tau, \\ 1, & t \geq \tau. \end{cases}; & F_7(t) = F_8(t) &= \begin{cases} 1 - e^{-(\lambda+\nu)t}, & 0 \leq t < u, \\ 1, & t \geq u. \end{cases}; \\
F_9(t) &= \begin{cases} 1 - e^{-2\nu t}, & 0 \leq t < u, \\ 1, & t \geq u. \end{cases}
\end{aligned} \tag{11}$$

Математичні сподівання:

$$\begin{aligned}
\mu_1 = \mu_2 &= \frac{1 - e^{-\lambda u}}{\lambda}; & \mu_2 = \mu_4 &= \frac{1 - e^{-(\lambda+\mu)u}}{\lambda + \mu}; & \mu_5 = \mu_6 &= \frac{1 - e^{-\lambda \tau}}{\lambda}; \\
\mu_7 = \mu_8 &= \frac{1 - e^{-(\lambda+\nu)u}}{\lambda + \nu}; & \mu_9 &= \frac{1 - e^{-2\nu u}}{2\nu}.
\end{aligned} \tag{12}$$

Вхідні дані:

- 1) Час наробітку системи до переходу у стан профілактики  $u = 24$  год.;
- 2) Час наробітку системи на відмову  $z = 48$  год.;
- 3) Час перебування комп'ютера у стані профілактики  $\tau = 1$  год.;
- 4) Час тривалості ремонту  $v = 16$  год.

Визначимо характеристики процесу функціонування системи, які характеризують її надійність:

- 1) Середнє число попадань системи із стану  $i$  у стан  $j$ ;
- 2) Середнє число попадань системи у стан  $j$  із стану  $i$  до того, як система попаде у критичний стан;
- 3) Стационарний розподіл ймовірностей станів системи;
- 4) Кількість кроків, які потрібні системі для першого досягнення стану  $j$  за умови виходу із стану  $i$ .

В алгоритмі у Mathcad перехідні ймовірності представлені матрицею  $p$

**Алгоритм розв'язання у Mathcad**

ORIGIN  $\equiv$  1      Вхідні дані

$$n := 9 \quad u := 24 \quad z := 48 \quad \lambda := \frac{1}{u} \quad \tau := 1 \quad \mu := \frac{1}{\tau} \quad \mu = 1 \quad v := 16 \quad \nu := \frac{1}{u} \quad \nu = 0.06$$

Функції розподілів

$$\begin{aligned}
F_1(t) &:= 1 - e^{-\lambda \cdot t} & F_2(t) &:= 1 - e^{-\mu \cdot t} & F_3(t) &:= 1 - e^{-\nu \cdot t} \\
F(t) &:= F_1(t) + F_2(t) - F_1(t) \cdot F_2(t) & G(t) &:= F_2(t) + F_3(t) - F_2(t) \cdot F_3(t) \\
H(t) &:= F_1(t) + F_3(t) - F_1(t) \cdot F_3(t)
\end{aligned}$$

Перехідні ймовірності

$$\begin{aligned}
p_{1,1} &:= \frac{e^{-\lambda \cdot u}}{2} & p_{1,2} &:= \frac{e^{-\lambda \cdot u}}{2} & p_{1,7} &:= 1 - e^{-\lambda \cdot u} \\
p_{2,2} &:= e^{-(\lambda+\mu) \cdot \tau} & p_{2,3} &:= e^{-\lambda \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot \tau}) & p_{2,6} &:= e^{-\mu \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau}) \\
p_{2,8} &:= 1 - e^{-\lambda \cdot \tau} - e^{-\mu \cdot \tau} + e^{-(\lambda+\mu) \cdot \tau} \\
p_{3,3} &:= \frac{e^{-\lambda \cdot u}}{2} & p_{3,4} &:= \frac{e^{-\lambda \cdot u}}{2} & p_{3,8} &:= F_1(u) & p_{4,4} &:= e^{-(\lambda+\mu) \cdot \tau} \\
p_{4,1} &:= e^{-\lambda \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot \tau}) & p_{4,5} &:= e^{-\mu \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau}) \\
p_{4,7} &:= 1 - e^{-\lambda \cdot \tau} - e^{-\mu \cdot \tau} + e^{-(\lambda+\mu) \cdot \tau} \\
p_{5,5} &:= e^{-(\mu+\nu) \cdot \tau} & p_{5,4} &:= 1 - e^{-\nu \cdot \tau} & p_{5,7} &:= e^{-\nu \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot \tau}) \\
p_{6,6} &:= e^{-(\mu+\nu) \cdot \tau} & p_{6,2} &:= 1 - e^{-\nu \cdot \tau} & p_{6,8} &:= e^{-\nu \cdot \tau} \cdot (1 - e^{-\mu \cdot \tau})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_{7,7} &:= \frac{e^{-(\lambda+\nu) \cdot u}}{2} & p_{7,3} &:= e^{-\lambda \cdot u} \cdot (1 - e^{-\nu \cdot u}) & p_{7,4} &:= 1 - e^{-\lambda \cdot u} - e^{-\nu \cdot u} + e^{-(\lambda+\nu) \cdot u} \\
p_{7,5} &:= \frac{e^{-(\lambda+\nu) \cdot u}}{2} & p_{7,9} &:= e^{-\nu \cdot u} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot u}) \\
p_{8,8} &:= \frac{e^{-(\lambda+\nu) \cdot u}}{2} & p_{8,1} &:= e^{-\lambda \cdot u} \cdot (1 - e^{-\nu \cdot u}) & p_{8,6} &:= \frac{e^{-(\lambda+\nu) \cdot u}}{2} \\
p_{8,2} &:= 1 - e^{-\lambda \cdot u} - e^{-\nu \cdot u} + e^{-(\lambda+\nu) \cdot u} & p_{8,9} &:= e^{-\nu \cdot u} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot u}) \\
p_{9,9} &:= e^{-2 \cdot \nu \cdot u} & p_{9,7} &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - p_{9,9}) & p_{9,8} &:= \frac{1}{2} \cdot (1 - p_{9,9})
\end{aligned}$$

Матриця перехідних імовірностей має вигляд

$$P := \begin{pmatrix}
p_{1,1} & p_{1,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1,7} & 0 & 0 \\
0 & p_{2,2} & p_{2,3} & 0 & 0 & p_{2,6} & 0 & p_{2,8} & 0 \\
0 & 0 & p_{3,3} & p_{3,4} & 0 & 0 & 0 & p_{3,8} & 0 \\
p_{4,1} & 0 & 0 & p_{4,4} & p_{4,5} & 0 & p_{4,7} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & p_{5,4} & p_{5,5} & 0 & p_{5,7} & 0 & 0 \\
0 & p_{6,2} & 0 & 0 & 0 & p_{6,6} & 0 & p_{6,8} & 0 \\
p_{7,1} & 0 & p_{7,3} & 0 & 0 & 0 & p_{7,7} & 0 & p_{7,9} \\
p_{8,1} & p_{8,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{8,8} & p_{8,9} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{9,7} & p_{9,8} & p_{9,9}
\end{pmatrix}$$

Матриця  $P$  є стохастичною, оскільки суми елементів її рядків дорівнюють 1:

$$i := 1..n \quad P_i := \sum_{j=1}^n p_{i,j} \quad P^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$$

Знайдемо характеристики системи:

1) Середнє число попадань системи у стан  $j$  із стану  $i$  до того, як система попаде у критичний стан – стан 9 ( $A_r B_r$ ). Викреслюючи 9-й рядок і 9-й стовпець матриці  $I - P$ , які відповідають стану 9, де  $I$  – одинична матриця, знаходимо фундаментальну матрицю  $C^{-1}$ , яка дає потрібний результат:

$$C := I - p1 \quad m := C^{-1} \quad m = \begin{pmatrix}
12.6 & 8.7 & 11.7 & 8.4 & 0.7 & 0.7 & 5.9 & 5.5 \\
11.7 & 10 & 12.6 & 8.6 & 0.7 & 0.7 & 5.5 & 5.9 \\
11.7 & 8.4 & 12.6 & 8.7 & 0.7 & 0.7 & 5.5 & 5.9 \\
12.6 & 8.6 & 11.7 & 10 & 0.7 & 0.7 & 5.9 & 5.5 \\
11 & 7.8 & 11.1 & 8.4 & 2.3 & 0.6 & 6.2 & 5.2 \\
11.1 & 8.4 & 11 & 7.8 & 0.6 & 2.3 & 5.2 & 6.2 \\
10.8 & 7.7 & 11 & 8.3 & 0.7 & 0.6 & 6.2 & 5.2 \\
11 & 8.3 & 10.8 & 7.7 & 0.6 & 0.7 & 5.2 & 6.2
\end{pmatrix}$$

Із матриці  $m$  видно, що система знаходиться у стані 1 в середньому 12,6 разів, у стані 2 – 8,7 разів, у стані 3 – 11,7 разів, у стані 4 – 8,4 рази і т.д. до того, як вона побуває у стані повного ремонту – у стані 9. Це можна було чекати, оскільки середній час роботи до першої відмови комп'ютера дорівнює 48 год., а профілактика планується через кожні 24 год. Середній час перебування системи у станах 1, 2, 3, 4 до попадання у стан 9, однак, набагато більше середнього часу перебування системи у станах 5, 6, 7, 8. У цьому можна впевнитись на основі співвідношення (6).

Середнє число кроків до переходу процесу у критичний стан 9 при умові, що початковий стан  $i$  є некритичний, дорівнює сумі елементів рядків матриці  $m$ :

$$S_i := \sum_{j=1}^{n-1} m_{i,j} \quad S^T = (54.2 \ 55.7 \ 54.2 \ 55.7 \ 52.6 \ 52.6 \ 50.6 \ 50.6)$$

2) Стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ . Для цього визначимо матрицю  $C = p^T - I$ , у якій останній рядок замінений коефіцієнтами рівняння нормування ймовірностей  $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$ , а також задамо вектор  $q$  правих частин рівняння  $C^T \pi = q$ :

$$I := \text{identity}(n) \quad C := I - p^T \quad j := 1..n \quad C_{n,j} := 1 \quad q_n := 1 \quad q^T = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)$$

Отримуємо стаціонарний розподіл станів системи

$$\pi := C^{-1} \cdot q \quad \pi^T = (0.212 \ 0.155 \ 0.212 \ 0.155 \ 0.013 \ 0.013 \ 0.11 \ 0.11 \ 0.019) \quad \sum \pi = 1$$

Імовірності  $\pi_i$  характеризують частку часу перебування системи у відповідних станах. Так більшу частку часу система проводить у станах 1–4, меншу у станах 5–9. Імовірності знаходження системи у робочому і неробочому стані дорівнюють

$$p_p := \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_7 + \pi_8 \quad p_p = 0.954 \quad p_{np} := \pi_5 + \pi_6 + \pi_9 \quad p_{np} = 0.045$$

3) Середнє число попадань у стан  $j$  між двома послідовними попаданнями у стан  $i$  визначається як відношення ймовірностей  $\pi_j$  і  $\pi_i$ :

$$i := 1..n \quad j := 1..n \quad A_{i,j} := \frac{\pi_j}{\pi_i} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 0.7 & 1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.5 & 0.1 \\ 1.4 & 1 & 1.4 & 1 & 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.7 & 0.1 \\ 1 & 0.7 & 1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.5 & 0.1 \\ 1.4 & 1 & 1.4 & 1 & 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.7 & 0.1 \\ 16 & 11.7 & 16 & 11.7 & 1 & 1 & 8.4 & 8.4 & 1.5 \\ 16 & 11.7 & 16 & 11.7 & 1 & 1 & 8.4 & 8.4 & 1.5 \\ 1.9 & 1.4 & 1.9 & 1.4 & 0.1 & 0.1 & 1 & 1 & 0.2 \\ 1.9 & 1.4 & 1.9 & 1.4 & 0.1 & 0.1 & 1 & 1 & 0.2 \\ 10.9 & 7.9 & 10.9 & 7.9 & 0.7 & 0.7 & 5.7 & 5.7 & 1 \end{pmatrix}$$

4) Кількість кроків, які потрібні системі для першого досягнення стану  $j$  за умови виходу із стану  $i$ . Позначимо цю випадкову величину через  $X_{ij}$ . Нехай далі  $M = (M_{ij})$ , де  $M_{ij} = M[X_{ij}]$  є середній час до першого попадання із стану  $i$  у стан  $j$ .

Величини  $M_{ij}$  можна визначити із наступного рівняння:

$$M_{ij} = \sum_{k \neq j} P_{ik} (M_{kj} + 1) + P_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Діагональні елементи матриці  $M$  (кількість кроків, які потрібні системі для першого повернення у стан  $i$ ) можна знайти, використовуючи стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи  $\pi$ . Отримуємо:

$$R_j := \frac{1}{\pi_j} \quad R^T = (4.7 \ 6.5 \ 4.7 \ 6.5 \ 75.7 \ 75.7 \ 9.1 \ 9.1 \ 51.4)$$

Для ергодичних марковських ланцюгів  $M$  визначається за формулою

$$M := (I - Z + E \cdot Z1) \cdot D$$

де

$$D = (D_{ij}) \quad D_{ij} = 0 \text{ для } i \neq j, \quad D_{ii} = 1/\pi_i.$$

Знаходження розв'язку для матриці  $M$  можна здійснити, застосовуючи фундаментальну матрицю для ергодичних марковських ланцюгів [1]:

$$\begin{aligned} P_{i,j} &:= \text{if}(j = i, \pi_i, 0) \quad Z := [I - (p - \Pi)]^{-1} \quad E_{i,j} := 1 \quad Z := [I - (p - E \cdot \Pi)]^{-1} \\ Z1_{i,j} &:= \text{if}(i = j, Z1_{j,j}, 0) \quad D_{i,j} := \text{if}\left(i = j, \frac{1}{\pi_i}, 0\right) \\ M &:= (I - Z + E \cdot Z1) \cdot D \end{aligned}$$

де матриця  $\Pi$  є матриця, у якій діагональними елементами є  $\pi_i$ , а усі інші дорівнюють 0.

$$M = \begin{pmatrix} 4.7 & 7.1 & 4.4 & 8.6 & 119.8 & 122.8 & 6.7 & 10.5 & 54.2 \\ 6 & 6.5 & 1.7 & 8.7 & 124.4 & 119.8 & 12 & 8 & 55.7 \\ 4.4 & 8.6 & 4.7 & 7.1 & 122.8 & 119.8 & 10.5 & 6.7 & 54.2 \\ 1.7 & 8.7 & 6 & 6.5 & 119.8 & 124.4 & 8 & 12 & 55.7 \\ 6.1 & 11.4 & 5.7 & 7 & 75.8 & 124.3 & 2.3 & 11.5 & 52.6 \\ 5.7 & 7 & 6.1 & 11.4 & 124.3 & 75.8 & 11.5 & 2.3 & 52.6 \\ 4.8 & 10 & 4 & 6 & 113.7 & 122.7 & 9.1 & 9.8 & 50.6 \\ 4 & 6 & 4.8 & 10 & 122.7 & 113.7 & 9.8 & 9.1 & 50.6 \\ 5.5 & 9 & 5.5 & 9 & 119.2 & 119.2 & 5.9 & 5.9 & 49 \end{pmatrix}.$$

5) Кількість відновлень. Позначимо через  $N_{ij}(n)$  кількість попадань у стан  $j$  за  $n$  кроків, якщо процес починається із стану  $i$ . Нехай  $\alpha_{ij}(n) = M[N_{ij}(n)]$  є математичне сподівання величини  $N_{ij}(n)$ . У теорії марковських процесів встановлено факт, що якщо матриця  $P$  є ергодичною, то

$$a) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\alpha_{ij}(n)}{n} = \pi_j,$$

$$б) (\alpha_{ij}(n) - n\pi_j) \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty$$

$$\pi^T \cdot (Z - \Pi) = (0.194 \quad 0.11 \quad 0.194 \quad 0.11 \quad 0.004 \quad 0.004 \quad 0.096 \quad 0.096 \quad 0.002)$$

Таким чином, математичне сподівання кількості попадань у стан  $j$  за  $n$  кроків, якщо процес починається із стану  $i$ , дорівнює

$$\alpha := \pi^T \cdot (Z - \Pi) + n \cdot \pi^T$$

$$\alpha = (2.1 \quad 1.5 \quad 2.1 \quad 1.5 \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 1.1 \quad 1.1 \quad 0.2) \quad \blacktriangleleft$$

Розглянемо тепер характеристики досліджуваної системи, які пов'язані з властивостями напівмарковського процесу.

1) Функції розподілу:

$$\begin{aligned} F_1(t) &:= \text{if}(0 \leq t < u, 1 - e^{-\lambda \cdot t}, 1) & F_3(t) &:= F_1(t) \\ F_2(t) &:= \text{if}(0 \leq t < \tau, 1 - e^{-(\lambda+\mu) \cdot t}, 1) & F_4(t) &:= F_2(t) \\ F_5(t) &:= \text{if}(0 \leq t < \tau, 1 - e^{-v \cdot t}, 1) & F_6(t) &:= F_5(t) \\ F_7(t) &:= \text{if}(0 \leq t < u, 1 - e^{-(\lambda+v) \cdot t}, 1) & F_8(t) &:= F_7(t) \\ F_9(t) &:= \text{if}(0 \leq t < u, 1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot t}, 1) \end{aligned}$$

2) Математичні сподівання:

$$\begin{aligned} \mu l_1 &:= \frac{1 - e^{-\lambda \cdot u}}{\lambda} & \mu l_3 &:= \mu l_1 & \mu l_2 &:= \frac{1 - e^{-(\lambda+\mu) \cdot \tau}}{\lambda + \mu} & \mu l_4 &:= \mu l_2 \\ \mu l_5 &:= \frac{1 - e^{-v \cdot \tau}}{v} & \mu l_6 &:= \mu l_5 & \mu l_7 &:= \frac{1 - e^{-(\lambda+\mu) \cdot u}}{\lambda + \mu} & \mu l_8 &:= \mu l_7 & \mu l_9 &:= \frac{1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot u}}{2 \cdot \lambda} \\ \mu l^T &= (18.9 \quad 0.6 \quad 18.9 \quad 0.6 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 7.6) \end{aligned}$$

3) Середнє число попадань системи із стану  $i$  у стан  $j$ :

$$i := 1..n \quad j := 1..n \quad T := 1000$$

$$L_j := \frac{1}{\pi_j} \cdot \sum_{i=1}^n \pi_i \cdot \mu l_i \quad L^T = (40.6 \quad 55.6 \quad 40.6 \quad 55.6 \quad 650.9 \quad 650.9 \quad 77.9 \quad 77.9 \quad 421.3)$$

4) Стационарний розподіл ймовірностей станів системи:

$$P_i := \frac{\mu l_i}{L_i} \quad P^T = (0.47 \quad 0.01 \quad 0.47 \quad 0.01 \quad 0 \quad 0 \quad 0.01 \quad 0.01 \quad 0.02) \quad \sum P = 1$$



5) Кількість повних відмов

$$N_{\text{відм}} := \frac{\pi_9}{\sum_{i=1}^9 \pi_i \cdot \mu_{1i}} \quad N_{\text{відм}} = 2.4$$

6) Середня кількість простоїв системи за час  $T = 1000$  год.:

$$N_{\text{пр}} := \frac{(\pi_5 + \pi_6 + \pi_9) \cdot T}{\sum_{i=1}^9 \pi_i \cdot \mu_{1i}} \quad N_{\text{пр}} = 5.4$$

7) Середній час простою за  $T = 1000$  год.:

$$T_{\text{пр}}(T) := \left( \frac{\mu_{15}}{L_5} + \frac{\mu_{16}}{L_6} + \frac{\mu_{19}}{L_9} \right) \cdot T \quad T_{\text{пр}}(T) = 21$$

8) Середнє число попадань у стан  $k$  протягом інтервалу часу  $(0, T)$  за умови, що процес почався із стану  $j$ :

$$i := 1..n \quad j := 1..n \quad r_{i,j} := \frac{T}{L_i} - 1 + \frac{1}{L_i} \cdot \sum_{k=1}^n p_{i,k} \cdot M_{k,j} \quad r_{j,k} := \text{if}(r_{j,k} \geq 0, r_{j,k}, 0)$$

$$r = \begin{pmatrix} 23.8 & 23.9 & 23.7 & 23.8 & 26.6 & 26.7 & 23.9 & 23.9 & 25 \\ 17.1 & 17.1 & 17 & 17.1 & 19.2 & 19.1 & 17.2 & 17.1 & 18 \\ 23.7 & 23.8 & 23.8 & 23.9 & 26.7 & 26.6 & 23.9 & 23.9 & 25 \\ 17 & 17.1 & 17.1 & 17.1 & 19.1 & 19.2 & 17.1 & 17.2 & 18 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.6 \\ 11.9 & 12 & 11.9 & 11.9 & 13.4 & 13.4 & 12 & 12 & 12.5 \\ 11.9 & 11.9 & 11.9 & 12 & 13.4 & 13.4 & 12 & 12 & 12.5 \\ 1.4 & 1.4 & 1.4 & 1.4 & 1.7 & 1.7 & 1.4 & 1.4 & 1.5 \end{pmatrix}$$

9) Середній час між відмовами (час до попадання НМП у стани  $5(A_r, B_p)$ ,  $6(A_p, B_r)$ ,  $9(A_r, B_r)$ ).

$$i := 2..8 \quad T_i := \sum_{j=1}^{i-1} r_{i,j} \cdot \mu_{1j} + \sum_{j=i+1}^n r_{i,j} \cdot \mu_{1j} \quad T_5 = 27.7 \quad T_6 = 27.7$$

$$T_9 := \sum_{j=1}^8 r_{9,j} \cdot \mu_{1j} \quad T_9 = 60 \quad T_9 = 60$$

Таблиця 1 – Основні характеристики надійності системи

| Середній час безвідмовної роботи, z год. | Середній час ремонту, v год. | Середня кількість простоїв, $N_{\text{пр}}$ | Середня кількість відмов, $N_{\text{відм}}$ | Середній час простою, $T_{\text{пр}}$ год. | Середній час між повними відмовами, $T_9$ год. | Імовірність відмови, $P_9$ |
|------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|
| 48                                       | 16                           | 5,4                                         | 2,4                                         | 21,0                                       | 60,0                                           | 0,018                      |
| 48                                       | 24                           | 5,4                                         | 2,4                                         | 27,5                                       | 59,3                                           | 0,024                      |
| 72                                       | 16                           | 5,1                                         | 2,2                                         | 19,5                                       | 56,5                                           | 0,017                      |
| 72                                       | 24                           | 5,0                                         | 2,2                                         | 25,5                                       | 55,9                                           | 0,023                      |

**Висновки.** Розроблена математична модель дослідження надійності складних динамічних систем, які описується напівмарковськими випадковими процесами. Модель дає можливість за допомогою характеристик напівмарковського процесу досліджувати широкий клас таких систем і визначати характеристики, які пов'язані з надійністю їх функціонування. На основі цих характеристик можна встановлювати оптимальні правила їх обслуговування для забезпечення надійності і зменшення втрат часу і коштів від їх простоїв.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитрієв М.М., Аль-Амморі Алі, Цуканов І.М. Реалізація стохастичної моделі надійності систем засобами інформаційних технологій // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Випуск 3. – К.: НТУ, 2015. – С. 106-118
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Изд-во «Сов. радио», 1969, 488 с.

## REFERENCES

1. Al-Ammouri Ali, Tsukanov I.M. Realizatsiya stokhastichnoyi modeli nadiynosti system zasobamy informatsiynykh tekhnolohiy // Informatsiyni protsesy, tekhnolohiyi ta systemy na transporti. Vypusk 3. – K.: NTU, 2015. – S. 106-118
2. Barlou P., Proshan F. Matematycheskaya teoriya nadezhnosta. – M.: Yzd-vo «Sov. padyo», 1969, 488 s.

## РЕФЕРАТ

Аль-Амморі Алі. Інформаційна технологія дослідження напівмарківської моделі надійності складних систем / Алі Аль-Амморі, О. І. Цуканов, Х.А. Аль-Амморі // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті –К.: НТУ – 2016. Вип. 4.

Розроблена ймовірнісна модель складної динамічної системи, яка описується напівмарковським випадковим процесом. На основі заданих розподілів ймовірностей часів перебування процесу у заданих станах, визначені ймовірності переходів напівмарковського процесу, який описує динаміку розглядуваної системи. Отримана матриця переходів напівмарковського процесу дає можливість змодельовати основні характеристики цього процесу: середнє число попадань системи із одного стану у інші; стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи; кількість кроків, які потрібні системі для першого досягнення заданого стану за умови виходу із іншого; середнє число попадань системи із одного у інший до того, як вона попаде у критичні стани.

Визначені характеристики напівмарковського випадкового процесу дають можливість визначити важливі показники надійності складних динамічних систем: середню кількість відмов системи, середній час простою, ймовірності станів системи, ймовірності відмов та інші.

Розроблена комп'ютерна технологія чисельних розрахунків у математичній системі Mathcad. Проведені розрахунки параметрів моделі, які характеризують надійність розглядуваної системи.

Розроблена модель дає можливість за допомогою характеристик напівмарковського процесу досліджувати широкий клас складних технічних систем і визначати параметри, які пов'язані з надійністю їх функціонування. На основі цих характеристик можна встановлювати оптимальні правила їх обслуговування для забезпечення високої надійності і економії часу і коштів від їх простоїв.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НАПІВМАРКОВСКИЙ ПРОЦЕС, ПРОСТІР СТАНІВ СИСТЕМИ, ІМОВІРНОСТІ ПЕРЕХОДІВ СИСТЕМИ, ІМОВІРНОСТІ СТАНІВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ.

## ABSTRACT

Al-Ammouri Ali. Information technologies for research semi-markov reliability model of complex systems / Ali Al-Ammori, I. M. Tsukanov, H.A. Al-Ammori // Information process, technologies and systems on transport – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

A probabilistic model of a complex dynamic system, which is described by a semi-Markov random process, was developed. The transition probabilities of semi-Markov process that describes the dynamics of the system was determined on the basis of the predefined probability distributions residence time of the process in a given state. The received, transition matrix of semi-Markov process makes it possible to simulate the basic characteristics of a semi-Markov process: the average number of system ingress from one state to another; stationary distribution of the system state probability; the number of steps that are needed to the system to achieve a first desired systems state upon condition the output are provided from another; the average number of system ingress from one state to another until it reaches the critical state.

Stated characteristics of the semi-Markov process make it possible to identify important reliability indicators of complex dynamic systems: the average failure number of system, the average down time of system, the probability of system states, the probability of system failures and others.

The computer technology of numerical calculations in mathematical system "Mathcad" was developed. The calculations of the model parameters, that characterize the reliability of the considered system was performed.

The developed model with the aid of the parameters semi-Markov processes makes it possible to explore a broad class of complex engineering systems and makes it possible to determine the parameters that are associated with their performance reliability. On the basis of these characteristics it can be set optimum rules of their maintenance to ensure high reliability and save time and means on their downtimes.

KEYWORDS: SEMI-MARKOV PROCESS, STATE SPACE OF THE SYSTEMS; TRANSITION PROBABILITY OF THE SYSTEMS; PROBABILITY OF THE STATE, RELIABILITY CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM.

#### РЕФЕРАТ

Аль-Аммори Али. Информационная технология исследования полумарковской модели надежности сложных систем / Али Аль-Аммори, А. И. Цуканов, Х.А. Аль-Аммори // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте К.: НТУ – 2016. Вып. 4.

Разработана вероятностная модель сложной динамической системы, которая описывается полумарковским случайным процессом. На основе заданных распределений вероятностей времен пребывания процесса у заданных состояниях, определены вероятности переходов полумарковского процесса, который описывает динамику рассматриваемой системы. Полученная матрица переходов полумарковского процесса дает возможность смоделировать основные характеристики полумарковского процесса: среднее число попаданий системы из одного состояния в другие; стационарное распределение вероятностей состояний системы; количество шагов, которое необходимо системе для первого достижения заданного состояния при условии выхода из другого; среднее число попаданий системы из одного состояния в другое до того, как она попадет в критические состояния.

Определенные характеристики полумарковского процесса дают возможность определить важные показатели надежности сложных динамических систем: среднее количество отказов системы, среднее время простоя, вероятности состояний системы, вероятности отказов и другие.

Разработана компьютерная технология численных расчетов в математической системе Mathcad. Проведены расчеты параметров модели, которые характеризуют надежность рассматриваемой системы.

Разработанная модель дает возможность с помощью характеристик полумарковского процесса исследовать широкий класс сложных технических систем и определять параметры, которые связаны с надежностью их функционирования. На основе этих характеристик можно устанавливать оптимальные правила их обслуживания для обеспечения высокой надежности и экономии времени и средств от их простоев.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЛУМАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС, ПРОСТРАНСТВО СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ, ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕХОДОВ СИСТЕМЫ, ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЙ, ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ.

#### АВТОРИ

Аль-Аммори Али, д.т.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. 0632263144.

Цуканов Олександр Іванович., к.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: hadjehod@ukr.net, tel: 0938535114.

Аль-Аммори Хасан Алієвич, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. 0939160432.

#### AUTHORS

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. 0632263144.

Tsukanov Oleksandr Ivanovith, Ph. D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: hadjehod@ukr.net, tel: 0938535114.

Al-Ammori Hasan A., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukrainian, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. 0939160432.

#### АВТОРЫ

Аль-Аммори Али, д.т.н. профессор, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. 0632263144.

Цуканов Александр Иванович., к.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: hadjehod@ukr.net, tel: 0938535114

Аль-Аммори Хасан Алиевич, аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail:ammourilion@ukr.net, tel. 0939160432.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Машков О.А., доктор технічних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінприроди України, проректор з наукової роботи, Київ, Україна.

Гамеляк І.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Mashkov O. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, State Ecological Academy and managing MEP Ukraine, Vice President for Research, Kyiv, Ukraine.

Gameliak I.P., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

## ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ СХЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

Воркут Т.А., д.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Данчук В.Д., д.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Прокудін Г.С., д.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Прокудін О.Г., к.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZATION OF SCHEMES DELIVERY CARGO

Vorkut T.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Danchuk V.D., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Prokudin G.S., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Prokudin O.G., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Воркут Т.А., д.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Данчук В.Д., д.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Прокудин Г.С., д.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Прокудин А.Г., к.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Історична довідка. В 1859 р. Вільям Гамільтон сформулював задачу під назвою «Навколосвітня подорож», метою якої було відшукати такий найкоротший маршрут, щоб одноразово відвідати кожний заданий населений пункт і повернутися у вихідний пункт. Вказана задача дала ривок цілому напрямку в теорії графів, що відомий як пошук циклів Гамільтона на графах. Цикл Гамільтона для графа з  $n$  вершин може бути представлений множиною пар суміжних вершин графа:  $\{(i_1, i_2); (i_2, i_3); \dots; (i_{n-1}, i_n); (i_n, i_1)\}$ .

Задача про цикли Гамільтона в теорії графів отримала різні узагальнення [1]. Одне з цих узагальнень – задача комівояжера, що в різних модифікаціях досить часто виникає в транспортній логістиці при плануванні перевезень. Задача комівояжера є модифікованою задачею про призначення, однак, у цьому випадку прив'язка між пунктами повинна утворювати замкнений цикл.

Комівояжер (з франц. *comitis voyageur* – мандрівний торговець) повинен вийти з першого міста, відвідати по одному разу кожне з  $n$  міст і повернутися в перше місто. Відстані між містами відомі. Необхідно шукати такий маршрут відвідування міст, щоб замкнутий шлях комівояжера був найкоротшим.

Існує кілька окремих випадків загальної постановки задачі, зокрема геометрична задача комівояжера (так звана планарна або евклідова, коли матриця відстаней відображає відстані між точками на площині), трикутна задача комівояжера (коли на матриці вартостей виконується нерівність трикутника), симетрична і асиметрична задачі комівояжера. Також існує узагальнення задачі, так звана узагальнена задача комівояжера [2].

Постановка задачі про комівояжера. Є  $n$  міст. Задано матрицю відстаней між ними  $C = |C_{ij}|$ . У загальному випадку  $C_{ij} \neq C_{ji}$ . Виїхавши з початково міста  $A_0$ , комівояжер повинен відвідати всі міста по одному разу і повернутися в місто  $A_0$ . Тому маршрут комівояжера утворює замкнений цикл без петель. Потрібно визначити, в якому порядку слід об'їжджати міста, щоб сумарна пройдена відстань була мінімальна.

Математична модель задачі. Введемо змінні:  $x_{ij} = 1$ , якщо комівояжер переїжджає з міста  $A_i$  в місто  $A_j$ ;  $x_{ij} = 0$  – у протилежному випадку. Де  $i, j = 1, 2, \dots, n$ ;  $i \neq j$ . Знайти

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (1)$$

при умовах

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j. \quad (4)$$

де  $u_i, u_j$  – довільні цілі невід’ємні числа.

Умова (2) означає, що комівояжер в’їжджає один раз у кожне місто, крім початкового. Умова (3) означає, що він виїжджає з кожного міста один раз. Умова (4) забезпечує замкненість маршруту, що містить  $n$  пунктів, і відсутність петель [3].

Інформатизація суспільства – це глобальний соціальний процес, особливість якого полягає в тому, що домінуючим видом діяльності в сфері суспільного виробництва є збір, накопичення, продукування, обробка, зберігання, передача та використання інформації, здійснювані на основі сучасних засобів мікропроцесорної та обчислювальної техніки, а також на базі різноманітних засобів інформаційного обміну [4].

Не можливо оцінити важливість застосування інформаційних технологій у галузі транспорту. Оптимізація схем доставки вантажів є однією з ключових у транспортній галузі та логістики [5]. В більшості сегментів ринку доставка товару додає до його вартості суму, яка прирівнюється до вартості самого товару. Поряд із цим, варто зауважити, що використання сучасних засобів інформаційних технологій для оптимізації такої доставки виражається економією часто не менше 5–20 % від загальної його вартості.

В роботі основне дослідження полягає у використанні сучасних засобів інформаційних технологій при розв’язанні задачі комівояжера для оптимізації процесу складання схеми маршруту перевезення вантажу у міжнародному сполученні. Найголовнішими факторами, які необхідно враховувати при вирішенні поставленої задачі є:

- відстані між пунктами відправлення, призначення та митними постами;
- час обслуговування в пунктах пропуску (митне оформлення);
- час здійснення навантажувально-розвантажувальних операцій;
- середня швидкість руху транспортного засобу (ТЗ);
- час відпочинку за Європейською угодою щодо роботи екіпажів ТЗ (ЄУТР).

При розрахунках використовувались реальні дані про місця розташування пунктів відправлення, призначення та пунктів пропуску (ПП) через державний кордон України, відстані між ними, а також середні швидкості.

Виклад основного матеріалу. Вантаж, представлений для здійснення перевезення, обраний на основі аналізу даних Державної служби статистики України, законів та постанов, а також економічної та соціальної ситуації в нашій країні. Дослідження проводилось в Житомирській області. Вантаж, представлений для перевезення – деревні пелети, оскільки саме деревина і вироби з неї становить 23% від загального обсягу експорту Житомирщин. Вантаж, яким буде завантажуватися ТЗ в Польщі – дерев’яні меблі.

В Житомирській області було обрано 10 пунктів відправлення, де здійснюється виробництво деревних пелет у найбільших обсягах: 1) Дубрівка; 2) Романів; 3) Любар; 4) Малин; 5) Овруч; 6) Новоград-Волинський; 7) Житомир, 8) Коростень; 9) Бердичів; 10) Радомишль.

Для подальшого дослідження обрано 2 автомобільні ПП у Волинській області і 6 у Львівській області (рис. 1). Визначальними факторами при виборі ПП буде час на здійснення митних операцій, а також відстань від місць відправлення вантажу. Перелік восьми ПП з боку України є наступним:

- 1) Ягодин; 2) Устилуг; 3) Угринів; 4) Рава-Руська; 5) Грушів; 6) Краковець; 7) Шегині;
- 8) Смільниця.

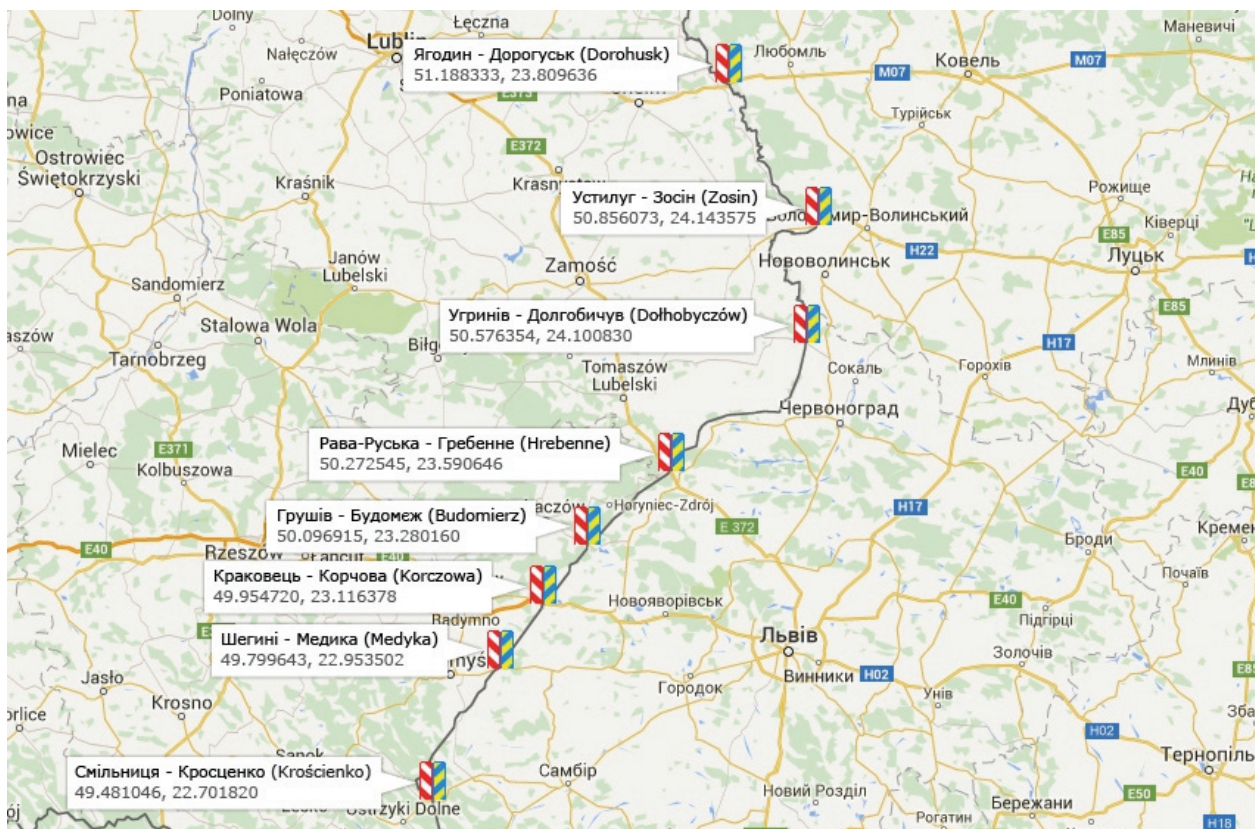


Рисунок 1 – Автомобільні пункти пропуску на українсько-польському кордоні

ПП в Польщі обрані відповідно до ПП в Україні (див. рис. 1), а саме:

- 1) Дорогуськ; 2) Зосін; 3) Долгобичув; 4) Гребенне; 5) Будомеж; 6) Корчова; 7) Медика; 8) Кросценко.

Пункти призначення (в Польщі) обрані, виходячи з того, що там знаходяться споживачі деревних пелет, а також меблеві фабрики, які здійснюють експорт своєї готової продукції в Україну. Таким чином пунктами призначення є наступні: 1) Слупськ; 2) Верушув; 3) Рацибуж; 4) Ельблонг; 5) Моронг; 6) Бродниця; 7) Варшава; 8) Кельце; 9) Островець-Свентокшиський; 10) Венгров.

У середовищі СУБД Microsoft Access була створена база даних з відповідними відстанями між ПП, пунктами відправлення та пунктами відправлення (рис 2).

| Маршрути |                    |                     |     |          |
|----------|--------------------|---------------------|-----|----------|
| Номер    | Пункт відправлення | Пункт призначення   | L   | Щелкните |
| 1        | Дубрівка           | Романів             | 55  |          |
| 2        | Дубрівка           | Любар               | 81  |          |
| 3        | Дубрівка           | Малин               | 187 |          |
| 4        | Дубрівка           | Овруч               | 161 |          |
| 5        | Дубрівка           | Новоград-Волинський | 39  |          |
| 6        | Дубрівка           | Житомир             | 97  |          |
| 7        | Дубрівка           | Коростень           | 130 |          |
| 8        | Дубрівка           | Бердичів            | 127 |          |
| 9        | Дубрівка           | Радомишль           | 200 |          |
| 10       | Дубрівка           | Ягодин              | 338 |          |
| 11       | Дубрівка           | Устилуг             | 314 |          |
| 12       | Дубрівка           | Угринів             | 337 |          |
| 13       | Дубрівка           | Рава-Руська         | 389 |          |

Рисунок 2 – База даних відстаней між між ПП, пунктами відправлення та пунктами відправлення



Для зручності подальших розрахунків дані по цих відстанях автоматично переформатовуються у файл табличного процесора Microsoft Excel, як показано на рис. 3. Програмне забезпечення з розв'язання задачі комівояжера спроектовано за допомогою алгоритмічної мови програмування Delphi [6].

|    | A  | B                   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   |
|----|----|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  |    | МІСТО               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
| 2  | 1  | Дубрівка            | 0   | 55  | 81  | 187 | 161 | 39  | 97  | 130 | 127 | 200 | 338 | 314 | 337 | 389 | 432 | 417 | 426 | 455 |
| 3  | 2  | Романів             | 55  | 0   | 50  | 152 | 182 | 73  | 64  | 136 | 63  | 137 | 381 | 357 | 368 | 443 | 445 | 460 | 457 | 486 |
| 4  | 3  | Любар               | 81  | 50  | 0   | 174 | 219 | 112 | 84  | 173 | 69  | 157 | 395 | 343 | 329 | 378 | 407 | 393 | 413 | 447 |
| 5  | 4  | Малин               | 187 | 152 | 174 | 0   | 94  | 146 | 88  | 128 | 36  | 404 | 405 | 442 | 508 | 537 | 532 | 557 | 591 |     |
| 6  | 5  | Овруч               | 161 | 182 | 219 | 94  | 0   | 139 | 133 | 48  | 173 | 127 | 384 | 385 | 422 | 488 | 521 | 505 | 530 | 564 |
| 7  | 6  | Новоград-Волинський | 39  | 73  | 112 | 146 | 139 | 0   | 84  | 108 | 125 | 157 | 316 | 292 | 307 | 367 | 406 | 395 | 420 | 454 |
| 8  | 7  | Житомир             | 97  | 64  | 84  | 88  | 133 | 84  | 0   | 87  | 41  | 74  | 392 | 368 | 403 | 454 | 483 | 471 | 496 | 530 |
| 9  | 8  | Коростень           | 130 | 136 | 173 | 58  | 48  | 108 | 87  | 0   | 127 | 90  | 357 | 357 | 394 | 460 | 489 | 474 | 499 | 533 |
| 10 | 9  | Бердичів            | 127 | 63  | 69  | 128 | 173 | 125 | 41  | 127 | 0   | 115 | 433 | 409 | 395 | 431 | 473 | 459 | 484 | 513 |
| 11 | 10 | Радомишль           | 200 | 137 | 157 | 36  | 127 | 157 | 74  | 90  | 115 | 0   | 437 | 437 | 474 | 531 | 559 | 544 | 566 | 600 |
| 12 | 11 | Ягодин (ПП)         | 338 | 381 | 395 | 404 | 384 | 316 | 392 | 357 | 433 | 437 | 0   | 83  | 120 | 212 | 239 | 256 | 283 | 325 |
| 13 | 12 | Устилуг (ПП)        | 314 | 357 | 343 | 405 | 385 | 292 | 368 | 357 | 409 | 437 | 83  | 0   | 60  | 148 | 179 | 196 | 218 | 265 |
| 14 | 13 | Угринів (ПП)        | 337 | 368 | 329 | 442 | 422 | 307 | 403 | 394 | 395 | 474 | 120 | 60  | 0   | 103 | 134 | 150 | 173 | 220 |
| 15 | 14 | Рава-Руська (ПП)    | 389 | 443 | 378 | 508 | 488 | 367 | 454 | 460 | 431 | 531 | 212 | 148 | 103 | 0   | 32  | 55  | 93  | 162 |
| 16 | 15 | Грушів (ПП)         | 432 | 445 | 407 | 537 | 521 | 406 | 483 | 489 | 473 | 559 | 239 | 179 | 134 | 32  | 0   | 26  | 82  | 151 |
| 17 | 16 | Краковець (ПП)      | 417 | 460 | 393 | 532 | 505 | 395 | 471 | 474 | 459 | 544 | 256 | 196 | 150 | 55  | 26  | 0   | 33  | 89  |
| 18 | 17 | Шегині (ПП)         | 426 | 457 | 413 | 557 | 530 | 420 | 496 | 499 | 484 | 566 | 283 | 218 | 173 | 93  | 82  | 33  | 0   | 57  |
| 19 | 18 | Смільниця (ПП)      | 455 | 486 | 447 | 591 | 564 | 454 | 530 | 533 | 513 | 600 | 325 | 265 | 220 | 162 | 151 | 89  | 57  | 0   |

Рисунок 3 – Відстані між ПП, пунктами відправлення та пунктами відправлення у форматі файлу Microsoft Excel

Для початку, створюємо сторінку для занесення вхідних даних для подальших обчислень, а саме часові характеристики навантажувально-розвантажувальних операцій на даному маршруті. Навантаження та розвантаження пелет та меблів буде здійснюватися механізованим способом. Задаємо про час обслуговування в ПП та середню технічну швидкість ТЗ ( $V_t = 65$  км/год).

Розглянемо приклад задачі комівояжера з одним пунктом відправлення в Україні, чотирма ПП (двома в Україні та двома в Польщі), чотирма пунктами призначення у Польщі. Тобто, в одному з міст Житомирської області завантажують 20 т деревних пелет. Навантаження здійснюється механізованим способом. У 4 містах Польщі розвантажують по 5 т вантажу, а в останньому завантажують 20 куб. м меблів (також приблизно 20 т). Як деревні пелети, так і меблі належать до 1 класу вантажів, тобто коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності автомобіля дорівнює одиниці ( $\gamma_{ст} = 1$ ). Слід зауважити, що стосовно додавання до маршруту ПП, то програма працює в двох режимах: ручному та автоматичному. Тобто, ПП можна визначати самостійно, або програма це робить автоматично, вибіраючи найближчі до пункту відправлення.

Програма формує відповідно таблицю, яка чітко показує відстані між вказаними містами та ПП. Завдяки чому ми зможемо побудувати можливі замкнуті маршрути і мати змогу обрати із всіх варіантів найкоротший (рис. 4).

|               |     |     |   |    |     |     |     |
|---------------|-----|-----|---|----|-----|-----|-----|
| Дубрівка      | 0   | 314 | 0 | 0  | 338 | 0   | 0   |
| Устилуг (ПП)  | 314 | 0   | 5 | 0  | 83  | 0   | 0   |
| Зосін (ПП/PL) | 0   | 5   | 0 | 48 | 0   | 307 | 515 |

Дубрівка -> Устилуг (ПП) -> Зосін (ПП/PL) -> Слупськ -> Верушув -> Ельблонг -> Варшава -> Дорогуськ (ПП/PL) -> Ягодин (ПП) -> Дубрівка -> = 2938  
Дубрівка -> Устилуг (ПП) -> Зосін (ПП/PL) -> Слупськ -> Ельблонг -> Варшава -> Верушув -> Дорогуськ (ПП/PL) -> Ягодин (ПП) -> Дубрівка -> = 2655  
Дубрівка -> Устилуг (ПП) -> Зосін (ПП/PL) -> Слупськ -> Ельблонг -> Верушув -> Варшава -> Дорогуськ (ПП/PL) -> Ягодин (ПП) -> Дубрівка -> = 2623

= Самий найкоротший замкнутий маршрут з 24 можливих =

Дубрівка -> Устилуг (ПП) -> Зосін (ПП/PL) -> Варшава -> Ельблонг -> Слупськ -> Верушув -> Дорогуськ (ПП/PL) -> Ягодин (ПП) -> Дубрівка -> = 2390 км  
36,76 год на транспортування  
45 хв на проходження 1-го пункту пропуску - Устилуг (ПП)  
40 хв на проходження 2-го пункту пропуску - Зосін (ПП/PL)  
35 хв на проходження 3-го пункту пропуску - Дорогуськ (ПП/PL)  
40 хв на проходження 4-го пункту пропуску - Ягодин (ПП)  
760 хв на розвантаження/навантаження

52,10 год на виконання всього маршруту !!!

Рисунок 4 – Результат роботи програми



Встановлено, що використовуючи комбінаторний метод [7] програма автоматично обчислює сумарну відстань маршруту і обирає той, де відстань між містами – найкоротша. Картосхема визначеного маршруту представлена на рис. 5.

Отже, визначено, що із визначених програмою двадцяти чотирьох можливих маршрутів найефективнішим буде Дубрівка (Україна) → Устилуг (ПП, Україна) → Зосін (ПП, Польща) → Варшава (Польща) → Ельблонг (Польща) → Слупськ (Польща) → Верушув (Польща) → Дорогуськ (ПП, Польща) → Ягодин (ПП, Україна) → Дубрівка (Україна). Довжина маршруту становить 2390 км. Загальний час транспортування складає 36,76 год., час обслуговування у першому ПП (Устилуг) – 45 хв., у другому (Зосін) – 40 хв., у третьому (Дорогуськ) – 35 хв., у четвертому (Ягодин) – 40 хв. Витрати часу на навантажувально-розвантажувальні роботи – 760 хв. Враховуючи всі вищевказані часові показники, загальний час на виконання маршруту без урахування часових характеристик на сон водія (за ЄУТР) становить 52,10 год.

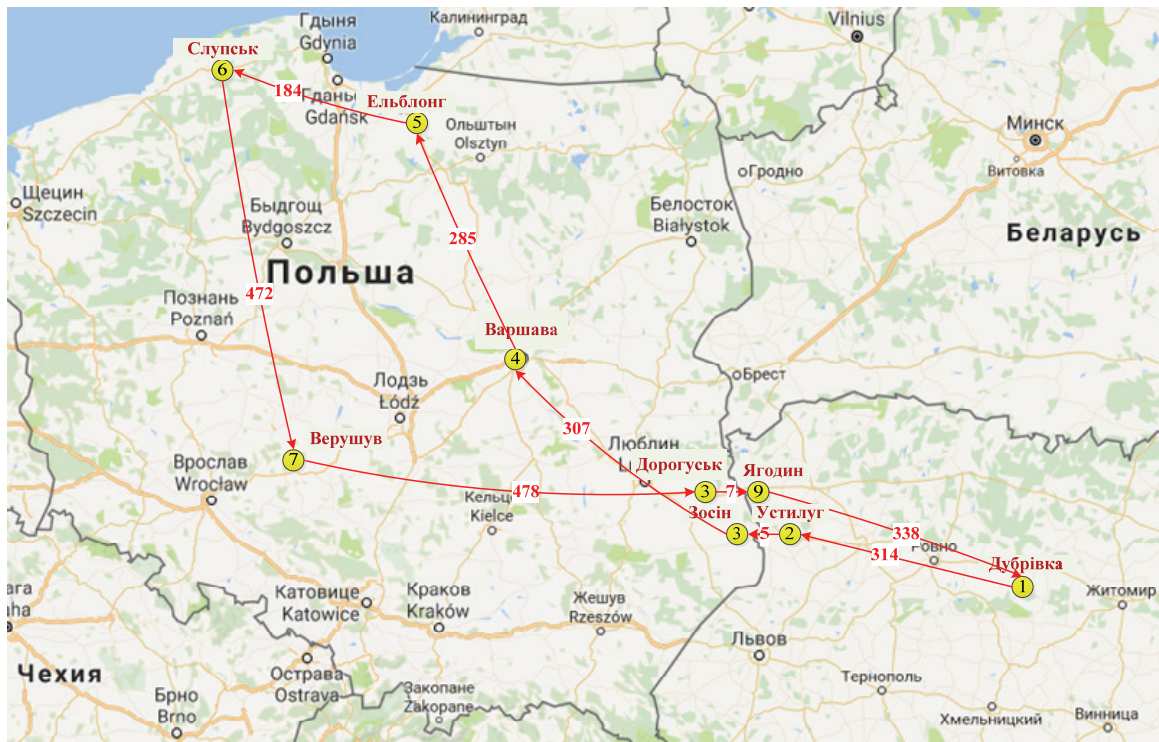


Рисунок 5 – Картосхема визначеного замкнутого маршруту

Детальний аналіз застосування моделі про оптимальне призначення до задачі комівояжера показав, що у цій моделі крім  $n!$  гамільтонових (повних) контурів є ще й багато неповних (ізолюваних) контурів, які охоплюють лише певні групи міст. Саме це суттєво ускладнило розв'язання задачі комівояжера і змусило дослідникам шукати для неї інші більш ефективні методи.

У даному підрозділі представлений приклад розв'язання задачі комівояжера для  $n = 9$  (одне місто-постачальник в Україні, два ПП в Україні, два ПП в Польщі, чотири міста-споживачі у Польщі) в табличному процесорі Microsoft Office Excel за допомогою функції «Пошук рішення» [8]. Обираємо такі ж ПП і міста, як і у попередньому прикладі.

На рис. 6 представлено зображення Excel-таблиці з вихідними даними (відстанями) між містами. Проте, щоб мати можливість розв'язати задачу комівояжера не тільки для повних (повністю орієнтованих) графів, а і для будь-яких, необхідно у матриці транспортних кореспонденцій відсутність дуги між вузлами позначати нескінченністю  $V_{ij} = \infty$ . Це означає, що в діагональ таблиці потрібно ввести числа на 2-3 порядки більші за максимальну відстань, а саме, припустимо 99999. Також це значення вводимо в клітинки  $(i, j)$  початкової таблиці даних, де не існує дуги з вузла  $i$  у вузол  $j$ .

Організацію процесу обчислень задачі комівояжера в Excel в загальному можна розділити на 5 кроків:

1. Введення початкових даних (див. рис 6).
2. Формування матриці X, підрахунок сум елементів по рядках і стовпцях (рис. 7).

3. Формування матриці обмежень зв'язності та цільової функції (рис. 8).
4. Формування моделі задачі оптимізації (рис. 9).
5. Отримання кінцевого результату (рис. 10).

|           | Дубрівка | Ягодин | Устигуг | Дорогуськ | Зосін | Варшава | Верушув | Ельблонг | Слупськ |
|-----------|----------|--------|---------|-----------|-------|---------|---------|----------|---------|
| Дубрівка  | 99999    | 338    | 314     | 99999     | 99999 | 99999   | 99999   | 99999    | 99999   |
| Ягодин    | 338      | 99999  | 83      | 7         | 99999 | 99999   | 99999   | 99999    | 99999   |
| Устигуг   | 314      | 83     | 99999   | 99999     | 5     | 99999   | 99999   | 99999    | 99999   |
| Дорогуськ | 99999    | 7      | 99999   | 99999     | 48    | 270     | 478     | 539      | 734     |
| Зосін     | 99999    | 99999  | 5       | 48        | 99999 | 307     | 515     | 583      | 786     |
| Варшава   | 99999    | 99999  | 99999   | 270       | 307   | 99999   | 258     | 285      | 471     |
| Верушув   | 99999    | 99999  | 99999   | 478       | 515   | 258     | 99999   | 461      | 472     |
| Ельблонг  | 99999    | 99999  | 99999   | 539       | 583   | 285     | 461     | 99999    | 184     |
| Слупськ   | 99999    | 99999  | 99999   | 734       | 786   | 471     | 472     | 184      | 99999   |

Рисунок 6 – Вихідна матриця відстаней між містами

|           | Дубрівка | Ягодин | Устигуг | Дорогуськ | Зосін | Варшава | Верушув | Ельблонг | Слупськ | Виходять |
|-----------|----------|--------|---------|-----------|-------|---------|---------|----------|---------|----------|
| Дубрівка  |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Ягодин    |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Устигуг   |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Дорогуськ |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Зосін     |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Варшава   |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Верушув   |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Ельблонг  |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Слупськ   |          |        |         |           |       |         |         |          |         | 0        |
| Входить   | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |          |

Рисунок 7 – Формування матриці X, підрахунок сум елементів по рядках і стовпцях

|           | Дубрівка | Ягодин | Устигуг | Дорогуськ | Зосін | Варшава | Верушув | Ельблонг | Слупськ | Zi |
|-----------|----------|--------|---------|-----------|-------|---------|---------|----------|---------|----|
| Дубрівка  | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Ягодин    | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Устигуг   | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Дорогуськ | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Зосін     | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Варшава   | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Верушув   | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Ельблонг  | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Слупськ   | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       |    |
| Zj        |          |        |         |           |       |         |         |          |         |    |

Рисунок 8 – Формування матриці обмежень зв'язності цільової функції

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

Рисунок 9 – Формування моделі задачі оптимізації

|                 | Дубрівка | Ягодин | Устигуг | Дорогуськ | Зосін | Варшава | Верушув | Ельблонг | Слупськ | Виходять |
|-----------------|----------|--------|---------|-----------|-------|---------|---------|----------|---------|----------|
| Дубрівка        | 0        | 1      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Ягодин          | 0        | 0      | 0       | 1         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Устигуг         | 1        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Дорогуськ       | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 1       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Зосін           | 0        | 0      | 1       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Варшава         | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 1        | 0       | 1        |
| Верушув         | 0        | 0      | 0       | 0         | 1     | 0       | 0       | 0        | 0       | 1        |
| Ельблонг        | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 0       | 0        | 1       | 1        |
| Слупськ         | 0        | 0      | 0       | 0         | 0     | 0       | 1       | 0        | 0       | 1        |
| Входить         | 1        | 1      | 1       | 1         | 1     | 1       | 1       | 1        | 1       |          |
|                 | Дубрівка | Ягодин | Устигуг | Дорогуськ | Зосін | Варшава | Верушув | Ельблонг | Слупськ | Zi       |
| Дубрівка        | 0        | 8      | -7      | -1        | -6    | -2      | -5      | -3       | -4      | 0        |
| Ягодин          | 0        | 0      | -7      | 7         | -6    | -2      | -5      | -3       | -4      | 0        |
| Устигуг         | 15       | 7      | 0       | 6         | 1     | 5       | 2       | 4        | 3       | 7        |
| Дорогуськ       | 1        | 1      | -6      | 0         | -5    | 7       | -4      | -2       | -3      | 1        |
| Зосін           | 6        | 6      | 7       | 5         | 0     | 4       | 1       | 3        | 2       | 6        |
| Варшава         | 2        | 2      | -5      | 1         | -4    | 0       | -3      | 7        | -2      | 2        |
| Верушув         | 5        | 5      | -2      | 4         | 7     | 3       | 0       | 2        | 1       | 5        |
| Ельблонг        | 3        | 3      | -4      | 2         | -3    | 1       | -2      | 0        | 7       | 3        |
| Слупськ         | 4        | 4      | -3      | 3         | -2    | 2       | 7       | 1        | 0       | 4        |
| Zj              |          |        |         |           |       |         |         |          |         |          |
| Цільова функція |          | 2390,0 |         |           |       |         |         |          |         |          |

Рисунок 10 – Отримання кінцевого результату

Отже, на основі розрахунків в табличному процесорі Excel отримано оптимальний замкнутий маршрут транспортування вантажу (рис. 11).

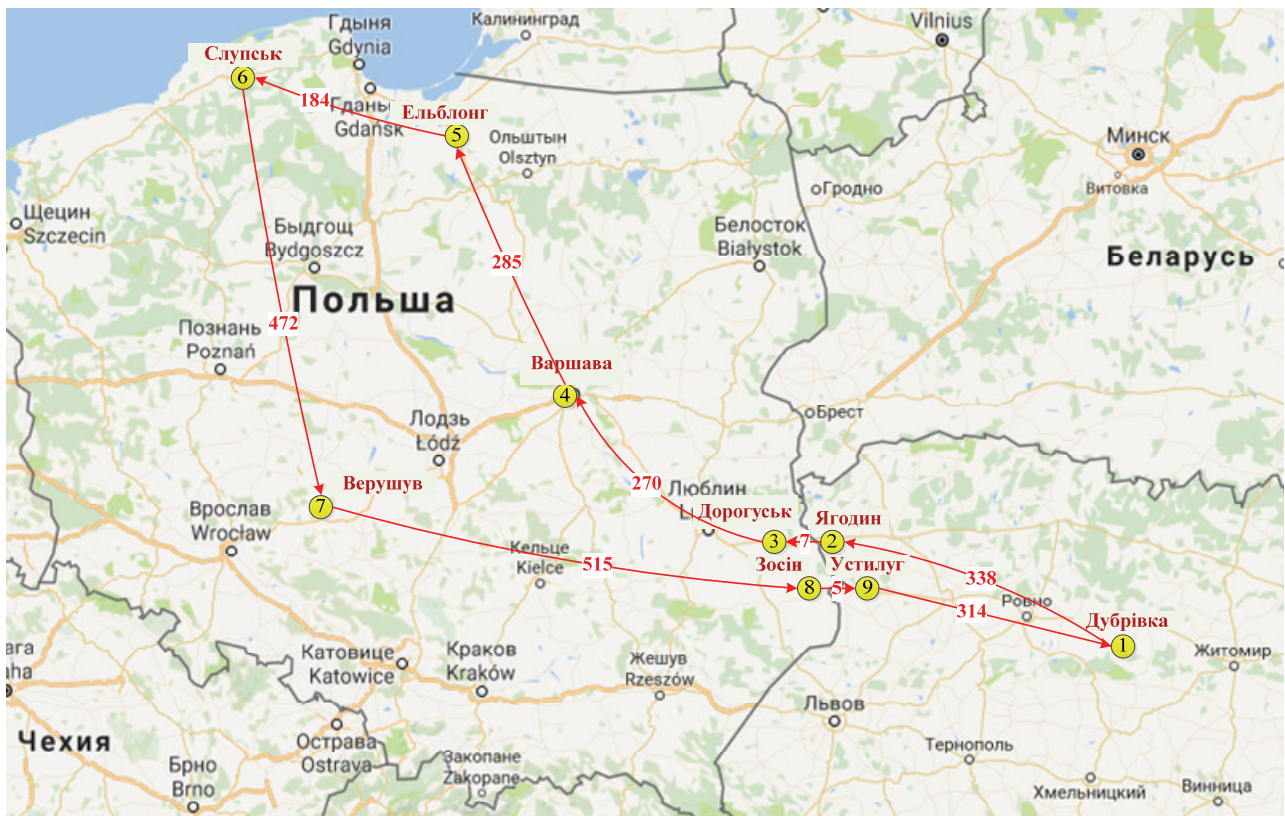


Рисунок 11 – Представлення оптимального маршруту перевезення на карті



Довжина отриманого маршруту (Дубрівка → Ягодин → Дорогуськ → Варшава → Ельблонг → Слупськ → Верушув → Зосін → Устилуг → Дубрівка) складає 2390 км. Слід зазначити, що у двох варіантах розв'язання цієї задачі (за допомогою програмного середовища Delphi і табличного процесора Excel), було отримано однаковий маршрут довжиною 2390 км, хоча послідовність проходження міст відрізняється.

Висновки. У ході виконання даного наукового дослідження доведена можливість автоматизації процесу розв'язування задачі комівояжера за допомогою сучасних засобів інформаційних технологій, а саме: програмного середовища Delphi та функції «пошук рішення» в табличному процесорі Microsoft Office Excel, враховуючи існуючі вимоги та обмеження на специфіку і розмірність задачі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Козаченко Д.М. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкін // Навч. посібник для ВНЗ. – Дніпро: Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 277 с.
2. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах / Н.Т. Кунда // Навч. посібник для студентів напряму «Транспортні технології» ВНЗ. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2008. – 400 с.
3. Лашених О.А. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем / О.А. Лашених, О.Ф. Кузькін // Навчальний посібник. – Запоріжжя, 2006. – 435 с.
4. Прокудін Г.С. Комп'ютерні технології статистичного аналізу на транспорті / Г.С. Прокудін, В.Д. Данчук, Цуканов О.І., Цимбал Н.М. // Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.05010101 – Інформаційні управляючі системи та технології. – К.: НТУ, 2013. – 280 с.
5. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. – 224 с.
6. Johnson D.S. Локальная оптимизация и проблема коммивояжера. Труды 17-го коллоквиума по алгоритмическим языкам программирования: [Конспект лекций в области компьютерных наук] / D.S. Johnson. – Berlin: Springer-Verlag, 1990. – С. 446–461.
7. Прокудін О.Г. Інформаційна технологія забезпечення функціонування транспортної логістики виробничого підприємства / О.Г. Прокудін // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті, Вип. 1. – К.: НТУ, 2014. – С. 38–49.
8. Кузьмичов А.І. Математичне програмування в Excel / А.І. Кузьмичов, М.Г. Медведєв // Навч. посібник. – К.: Вид-во Європ. Ун-ту, 2005. – 320 с.

#### REFERENCES

1. Kozachenko D.M., Vernygora P.V., Malashkin V.V. *Osnovy doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh: pryklady ta zadachi* [Fundamentals of operations research in transport systems: examples and tasks]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2015. 277 p. (Ukr)
2. Kunda N.T. *Doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh* [Operations research in transport systems]. Kyiv, Vydavnychiy Dim "Slovo" Publ., 2008. 400 p. (Ukr)
3. Lashenykh O.A., Kuzkin O.F. *Metody i modeli optymizatsii transportnykh protsesiv s system* [Methods and models of optimization of transport processes and systems]. Zaporozhye, ZNTU Publ., 2006. 435 p. (Ukr)
4. Prokudin G.S., Danchuk V.D., Tsukanov O.I., Tsymbal N.M. *Kompiuterni tekhnologii statystychnogo analizu na transporti* [Computer technology statistical analysis of transport]. Kyiv, NTU Publ., 2013. 280 p. (Ukr)
5. Prokudin G.S. *Modeli i metody optymizatsii perevezen u transportnykh systemakh* [Models and methods of optimization of transportation in transport systems]. Kyiv, NTU Publ., 2006. 224 p. (Ukr)
6. Johnson D.S. *Lokalnaya optimizatsiya i problema komivoyazhera* [Local Optimization and the Traveling Salesmen Problem]. – Berlin: Springer-Verlag, 1990. – P. 446–461. (Rus)
7. Prokudin O.G. Information technology functioning transport logistics Production Enterprise. *Informatsiini protsesy, tekhnologii ta systemy*. 2014. No. 1. P. 38–49. (Ukr)
8. Kuzmychov A.I., Medvediev M.G. *Matematychnе programuvannia v Ekhsel* [Mathematical Programming in Excel]. Kyiv, EU Publ., 2005. 320 p. (Ukr)

## РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Використання сучасних засобів інформаційних технологій при оптимізації схем доставки вантажів / Т.А. Воркут, В.Д. Данчук, Г.С. Прокудін, О.Г. Прокудін // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 4.

В роботі основне дослідження полягає у доведенні можливості використання сучасних засобів інформаційних технологій при розв'язанні задачі комівояжера для оптимізації процесу складання схеми маршруту перевезення вантажу у міжнародному сполученні.

Об'єкт дослідження – процес перевезення продукції деревообробної промисловості у міжнародному сполученні.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу організації перевезення продукції деревообробної промисловості у міжнародному сполученні.

Метод дослідження – комп'ютерне моделювання схем доставки вантажів у міжнародному сполученні.

Інформатизація суспільства – це глобальний соціальний процес, особливість якого полягає в тому, що домінуючим видом діяльності в сфері суспільного виробництва є збір, накопичення, продукування, обробка, зберігання, передача та використання інформації, здійснювані на основі сучасних засобів мікропроцесорної та обчислювальної техніки, а також на базі різноманітних засобів інформаційного обміну.

Не можливо оцінити важливість застосування інформаційних технологій у галузі транспорту. Оптимізація схем доставки вантажів є однією з ключових у транспортній галузі та логістики. В більшості сегментів ринку доставка товару додає до його вартості суму, яка прирівнюється до вартості самого товару. Поряд із цим, варто зауважити, що використання сучасних засобів інформаційних технологій для оптимізації такої доставки виражається економією часто не менше 5–20 % від загальної його вартості.

У ході виконання даного наукового дослідження доведена можливість автоматизації процесу розв'язування задачі комівояжера за допомогою сучасних засобів інформаційних технологій, а саме: програмного середовища Delphi та функції «пошук рішення» в табличному процесорі Microsoft Office Excel, враховуючи існуючі вимоги та обмеження на специфіку і розмірність задачі.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВАНТАЖ, ЛОГІСТИКА, ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, КОМІВОЯЖЕР, ЗАМКНУТИЙ КОНТУР, ОПТИМІЗАЦІЯ, МАРШРУТ, ПУНКТ ПРОПУСКУ.

## ABSTRACT

Vorkut T.A. The use of modern information technology in the optimization of cargo delivery schemes / T.A. Vorkut, V.D. Danchuk, G.S. Prokudin, O.G. Prokudin // Information processes, technologies and transport systems. – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

The work is basic research to prove the possibility of using modern means of information technology in solving the traveling salesman problem to optimize Charting the consignment in international traffic.

The object of study – the process of transportation product timber industry in international traffic.

Purpose – to increase the efficiency of transportation of goods timber industry in international traffic.

Research methods – computer modeling schemes of cargo delivery in international traffic.

Informatization of society – global social process, a feature of which is that the dominant activity in the sphere of social production is the collection, storage, production, processing, storage, transmission and use of the information carried on the basis of modern microprocessor and computer technology, as well as based on various means of information exchange.

It is not possible to estimate the importance of information technology in the field of transport. Optimization of schemes for cargo delivery is a key industry in the transport and logistics. In most segments of the delivery of goods adds to its cost amount equivalent to the value of the goods. At the same time, it should be noted that the use of modern information technology to optimize the delivery of such savings often expressed by at least 5-20% of its value.

In the course of this research proved the possibility of automating the process of solving the traveling salesman problem by means of modern information technology, namely Delphi programming environment and tool "Search solution" in the spreadsheet Microsoft Office Excel, considering the existing requirements and restrictions on the specificity and dimension problem.

**KEY WORDS:** CARGO, LOGISTICS, INFORMATION TECHNOLOGY, SALESPeople, CLOSED LOOP, OPTIMIZE ROUTES, CHECKPOINTS.

## РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Использование современных средств информационных технологий при оптимизации схем доставки грузов / Т.А. Воркут, В.Д. Данчук, Г.С. Прокудин, А.Г. Прокудин // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. – К.: НТУ, 2016. – Вып. 4.

В работе основное исследование заключается в доведении возможности использования современных средств информационных технологий при решении задачи коммивояжера для оптимизации процесса составления схем маршрута перевозки груза в международном сообщении.

Объект исследования – процесс перевозки продукции деревообрабатывающей промышленности в международном сообщении.

Цель работы – повышение эффективности процесса организации перевозки продукции деревообрабатывающей промышленности в международном сообщении.

Метод исследования – компьютерное моделирование схем доставки грузов в международном сообщении.

Информатизация общества – это глобальный социальный процесс, особенность которого состоит в том, что доминирующим видом деятельности в сфере общественного производства является сбор, накопление, продуцирование, обработка, хранение, передача и использование информации, осуществляемые на основе современных средств микропроцессорной и вычислительной техники, а также на базе разнообразных средств информационного обмена.

Невозможно оценить важность применения информационных технологий в области транспорта. Оптимизация схем доставки грузов является одной из ключевых в транспортной отрасли и логистике. В большинстве сегментов рынка доставка товара добавляет к его стоимости сумму, приравнивается к стоимости самого товара. Наряду с этим, следует отметить, что использование современных средств информационных технологий для оптимизации такой доставки выражается экономией часто не менее 5-20% от общей его стоимости.

В ходе выполнения данного научного исследования доказана возможность автоматизации процесса решения задачи коммивояжера с помощью современных средств информационных технологий, а именно: программной среды Delphi и функции "поиск решения" в табличном процессоре Microsoft Office Excel, учитывая существующие требования и ограничения на специфику и размерность задачи.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ГРУЗ, ЛОГИСТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОММИВОЯЖЕР, ЗАМКНУТЫЙ КОНТУР, ОПТИМИЗАЦИЯ, МАРШРУТ, ПУНКТ ПРОПУСКА.

### АВТОРИ:

Воркут Тетяна Анатоліївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. каф. транспортного права та логістики, e-mail: tpsal@ntu.edu.ua, +380442544326, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 439.

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, e-mail: vdanchuk@ukr.net, +380442849441, Україна, 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе 42, к. 211.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. каф. міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: p\_g\_s@ukr.net, +380633270243, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 437.

Прокудін Олексій Георгійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: al\_pro@ukr.net, тел. +380672350604, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 439.

### AUTHORS:

Vorkut Tetiana A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, head of the department of transport and logistics law, e-mail: tpsal@ntu.edu.ua, +380442544326, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova, str. 1, of. 439.

Danchuk Viktor D., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Dean of the Faculty of transport and information technology, e-mail: vdanchuk@ukr.net, +380442849441, Ukraine, 01103, Kyiv, Kikvidze, str. 42, of. 211.

Prokudin Georgiy S., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, head of the department of international transportation and customs control, e-mail: p\_g\_s@ukr.net, +380633270243, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova, str. 1, of. 437.

Prokudin Aleksey G., Ph.D., National Transport University, Associate Professor of the department of transportation law and logistics, e-mail: al\_pro@ukr.net, tel. +380672350604, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov str. 1, of 439.

#### АВТОРЫ:

Воркут Татьяна Анатольевна, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, зав. каф. транспортного права и логистики, e-mail: tpsal@ntu.edu.ua, +380442544326, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 439.

Данчук Виктор Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, декан факультета транспортных и информационных технологий, e-mail: vdanchuk@ukr.net, +380442849441, Украина, 01103, г. Киев, ул. Киквидзе 42, к. 211.

Прокудин Георгий Семенович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, зав. каф. международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: p\_g\_s@ukr.net, +380633270243, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 437.

Прокудин Алексей Георгиевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортного права и логистики, e-mail: al\_pro@ukr.net, тел. +380672350604, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 439.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гавриленко В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій, Київ, Україна.

Стасюк О.І., доктор технічних наук, професор, Державний економіко-технологічний університет транспорту, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Gavrylenko V.V, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Transport University, head of information systems and technologies, Kyiv, Ukraine.

Stasiuk O.I, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Economy and Technology University of Transport, head of Automation and Computer Integrated Technologies of Transport, Kyiv, Ukraine.

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Хафед И. С. Абдулсалам, аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

### INFORMATION-ANALYTICAL ANALYSIS OF THE GEARS EFFICIENCY

Hafed I.S. Abdulsalam, postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Хафед І. С. Абдулсалам, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна

**Введение.** Рост производительности и эффективности машин, увеличение скоростей движения транспорта, повышение нагрузок вследствие вибраций и ударов, необходимость обеспечения надежной работы оборудования и безопасных условий эксплуатации, приводит к исследованию необходимости повышения эффективности работы зубчатых передач.

**Основная часть.** В зубчатой передаче движение передается с помощью зацепления пары зубчатых колес. Зубчатые передачи являются самым распространенным видом механических передач, поскольку они могут надежно передавать мощности от долей до десятков тысяч киловатт при окружных скоростях до 275 м/с. По этой причине они широко применяются во всех отраслях машиностроения и приборостроения и особенно на транспорте. При использовании зубчатых передач можно отметить что, к достоинствам этого вида механических передач относятся [1, 2]:

- возможность передачи практически любых мощностей (до 50000 кВт и более);
- широкий диапазон окружных скоростей (до 150 м/с);
- малые габариты;
- большой ресурс;
- высокий КПД (0.96...0.99);
- сравнительно малые нагрузки на валы и подшипники;
- постоянство передаточного числа;
- постоянство передаточного отношения;
- высокая надежность работы в широком диапазоне нагрузок и скоростей;
- простота обслуживания.

Но как и любой другой вид механических передач, зубчатые передачи имеют ряд недостатков, к которым относятся:

- относительно высокие требования к точности изготовления и монтажа;
- шум при больших скоростях, обусловленный неточностями изготовления профиля и шага зубьев;
- высокая жесткость, не дающая возможность компенсировать динамические нагрузки, что часто приводит к разрушению передачи или элементов конструкции.

В зависимости от формы колес и взаимного расположения осей валов зубчатые передачи делят:

- на цилиндрические с внешним и внутренним зацеплением (оси параллельны);
- конические (оси пересекаются);
- червячные (оси перекрещиваются);
- реечные (ось колеса параллельна исходной производящей линии рейки).

В зависимости от расположения и формы зубьев зубчатые колеса подразделяют:

- на прямозубые;
- косозубые;
- шевронные;
- с криволинейными зубьями.

Профиль зубьев может быть эвольвентным, циклоидальным, треугольным, круговой формы и другие. В крановых механизмах применяются зубчатые колеса с несимметричным профилем зуба.



Проходя зону зацепления, при работе передачи зубья подвергаются циклической нагрузке. При этом на контактирующих поверхностях зубьев действует нормальная к ним сила  $F_n$  и сила трения. Для каждого зуба напряжения изменяются во времени по прерывистому отнулевому циклу. Повторно-переменные нагрузки являются причиной усталостного разрушения зубьев – их поломки или выкрашивания рабочих поверхностей. Скольжение и силы трения в зацеплении вызывают изнашивание и заедание зубьев.

Ресурс отремонтированных автомобилей не превышает 40 % от ресурса новых, а себестоимость ремонта в ряде случаев за период эксплуатации значительно выше стоимости новых машин. Основной причиной выхода из строя большинства деталей автомобилей, которые в процессе эксплуатации подвержены контактно-фрикционному воздействию, является изменение их формы и геометрических размеров, вследствие интенсивного изнашивания или усталостно-контактного повреждения рабочих поверхностей. Это следует из данных по отказам, приведенных в табл.1. Преобладающими видами отказов карданной передачи являются разрушения поверхности шипов крестовины, износ торцов, задиры и заедания компенсатора линейных перемещений, приводящие в дальнейшем к вибрациям, разрушениям подшипников коробки передач, мостов, промежуточных опор. Основными видами повреждения шлицевых соединений являются износ и смятие контактирующих поверхностей. Наиболее характерными отказами ведущих мостов являются разрушения рабочих поверхностей ведущих и ведомых шестерен, оси и сателлита колесной передачи, крестовины дифференциала и других деталей.

Таблица 1 – Виды и количество отказов деталей различных агрегатов и систем автомобилей, %.

| Основные виды отказов | Двигатель | Сцепление | Коробка передач | Карданная передача | Задний мост | Передний мост, подвеска | Рулевое управление | Тормозная система |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------------|--------------------|-------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Износ                 | 47,2      | 83        | 65,3            | 97,6               | 72,9        | 58,2                    | 79,3               | 49,8              |
| Поломка               | 2,6       | 4,0       | -               | 2,4                | -           | 34,5                    | 2,6                | 9,0               |
| Выкрашивание          | 1,7       | —         | 21,3            | —                  | 22,4        | —                       | 15,2               | —                 |

Причиной износа чашки дифференциала, а также чашки водила колесной передачи вместе с осями сателлитов является фреттинг-коррозия, возникающая вследствие микроперемещений, вызванных несоосностью, монтажной и технологической погрешностями, повышенными зазорами и вибрациями. При износе опорных поверхностей чашек дифференциалов более 0,05 мм на сторону может происходить перекося и заклинивание сателлитов. Износ зубьев главной передачи автомобиля существенно увеличивает динамическую нагруженность трансмиссии. Данные испытаний свидетельствуют о том, что при интенсивных износах уже после 20 тыс. км пробега средние отклонения от номинальных значений крутящего момента возрастают на 60...70 %. К быстроизнашивающимся деталям автомобилей относятся и шарнирные соединения рулевого управления, которые выходят из строя из-за усталостного разрушения и схватывания поверхностей при ограниченной смазке [1, 3].

Таким образом, характер повреждений силовых элементов автомобилей обусловлен тем, что взаимодействие поверхностей деталей осуществляется в различных условиях, которые определяются конструктивными, технологическими и эксплуатационными особенностями. Применение новых технологий позволяет значительно повысить технический уровень и эксплуатационные показатели машин.

Основные наиболее часто встречающиеся в конструкциях машин силовые элементы механических систем и причины их выхода из строя приведены в табл. 2 показаны предельные состояния деталей после длительной эксплуатации.

Распределение отказов по агрегатам и системам автомобиля рассмотрим на примере автомобилей ВАЗ при пробеге 50 тыс. км и сроке эксплуатации 3..5 лет [1] и приведены в табл.3.

Таблица 2 – Основные типы силовых механических систем и причины отказов их элементов

|                                                                        |                                                                                                 |                            |                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зубчатая передача                                                      | Трение качения (ограниченное скольжение)                                                        | Питтинг, изнашивание       | Нарушение функциональных характеристик, предельные отклонения геометрических размеров, шум, вибрация, катастрофические разрушения рабочих поверхностей зубьев |
| Переключаемые элементы силовых передач, клапанные уплотнения и системы | Контактно-фрикционное взаимодействие, трение скольжения, ударно-циклические контактные нагрузки | То же                      | То же                                                                                                                                                         |
| Подшипники качения                                                     | Трение качения                                                                                  | То же                      | Нарушение функциональных характеристик, предельные отклонения геометрических размеров, шум, вибрация, катастрофические разрушения рабочих поверхностей        |
| Подшипники скольжения                                                  | Трение скольжения                                                                               | Различные виды изнашивания | Предельные отклонения геометрических размеров, нарушение функциональных характеристик, шум, вибрация, разрушение деталей' подшипниковых узлов                 |
| Торцевые и другие виды контактных уплотнений                           | Трение скольжения                                                                               | То же                      | Предельные отклонения геометрических размеров, нарушение функциональных характеристик                                                                         |

Таблица 3 – Распределение отказов по агрегатам и системам автомобиля.

| Агрегаты и системы                                                            | Число отказов % | Основные виды отказов                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тормозная система                                                             | 27,3            | Износ тормозных колодок (в основном передних)                                                                                           |
| Электрооборудование и приборы                                                 | 24,7            | Обгорание и оплавление электродов свечей зажигания и передвигного контакта переключателя отопителя                                      |
| Передняя подвеска                                                             | 16,9            | Разрушение сайлентблоков амортизаторов, износ пальцев шаровых опор, течь жидкости из амортизаторов вследствие износа сальниковых узлов  |
| Кузов и его детали                                                            | 8,2             | Отказ замков дверей и багажника, отказ троса замка капота                                                                               |
| Задняя подвеска                                                               | 7,7             | Течь жидкости из амортизатора вследствие износа сальниковых узлов, разрушение втулок амортизаторов                                      |
| Двигатель и его системы                                                       | 5,7             | Разрушение ремней вентилятора и резиновой прокладки клапанной крышки износ кулачков распределительного вала и рычагов приводов клапанов |
| Остальные агрегаты (колеса, задний мост, сцепление, рулевое управление и др.) | 10,2            | -----                                                                                                                                   |

Анализ табл. 3. показывает, что основными причинами отказов являются износ сопряженных деталей и старение резиновых деталей. К отказам относят такие изменения параметров автомобиля, как снижение мощности и повышение расхода топлива. У двигателей, поступающих в капитальный ремонт, мощность снижается от 7 до 56%, а удельный расход топлива повышается от 7 до 131%. Если считать отказом уход параметров на 15 %, то для автомобилей ВАЗ ресурс составит 158 тыс. км.

Условия эксплуатации механических систем характеризуются нагрузками, которые могут быть представлены в виде определенных классификационных групп.

Типовые режимы можно разделить:

- по происхождению: внешние, которые являются результатом взаимодействия с внешней средой, и внутренние, зависящие от конструктивных особенностей и режимов эксплуатации машины;
- виду воздействия механических нагрузок: вибрационные, ударные (одиночные и многократного действия);
- характеру приложения нагрузки: сосредоточенные, распределенные;
- виду деформации: растягивающие силы, сжимающие силы, изгибающие моменты, крутящие моменты, срез, вдавливание;
- характеру протекания: мгновенные импульсы, импульсы конечной продолжительности, ступенчатые импульсы, непрерывные импульсы, комбинированные импульсы и т.п.

В зависимости от характера протекания во времени механические воздействия разделяются на периодические (непрерывно изменяющиеся, импульсные периодические и смешанные периодические) и непериодические.

Особую роль при эксплуатации механических систем играют случайные механические воздействия, которые могут быть стационарными и нестационарными. Возникновение ударных нагрузок связано с резким изменением ускорения, скорости или направления перемещения изделий. Эксплуатационная нагруженность многих типов механических систем является результатом перечисленных механических воздействий. Поэтому повреждения и отказы деталей приводов обусловлены прежде всего условиями эксплуатации.

Приводы и трансмиссии представляют собой сложные механические системы взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (зубчатые колеса, подшипники, валы, механизмы переключения и т.д.).

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что диапазон изменения окружных скоростей зубчатых колес при разных условиях эксплуатации отличается более чем в 30 раз, а величина крутящего момента более чем в 2 раза может превышать номинальные нагрузки.

Динамические нагрузки, возникающие в трансмиссии, можно разделить на постоянно действующие при установившемся движении с постоянной скоростью и на возникающие в переходных процессах движения машины. Динамические нагрузки первой группы, вызванные продольными и угловыми колебаниями, взаимодействием трансмиссии с ходовой частью и подвеской, непостоянством крутящего момента двигателя, а также неравномерностями крутящего момента, передаваемого карданными и зубчатыми передачами, в первом приближении могут считаться квазистационарными случайными процессами. Динамические нагрузки, возникающие при переходных процессах движения машины, таких как трогание с места, разгон и торможение, переключение передач, автоколебания при трогании и буксовании, являются нестационарными случайными процессами.

Даже наезд автомобиля на дорожные неровности приводит к увеличению тягового усилия на колеса, что, в свою очередь, увеличивает нагруженность трансмиссии, делает эту нагрузку переменной в зависимости от характеристики дороги.

Особое значение для оценки влияния технологических факторов и качества изготовления на динамические процессы имеет внутренняя динамика силовых передач. Известные модели, описывающие динамические процессы, вызванные перезацеплением зубьев, можно классифицировать по следующим типам [2, 3]:

- одиночный удар зубчатых колес, обусловленный погрешностью шага зацепления (ударная модель);
- кромочное взаимодействие зубьев, обусловленное той же погрешностью (кромочная модель);
- параметрическое возбуждение колебаний, обусловленное периодическим изменением жесткости зацепления;
- кинематическое возбуждение, вызываемое периодическими погрешностями зубчатых колес;
- виброударные колебания зубчатых колес, вызванные боковыми зазорами (виброударная модель).

Основными возбуждающими факторами, обусловленными точностью изготовления силовых передач, являются погрешность шага зацепления и дискретное нагружение зубьев. Постоянная погрешность шага зацепления действует в течение всего времени нахождения пары зубьев в зацеплении с учетом того, что имеет место кромочное взаимодействие зубьев на входе и выходе из зацепления, а также периодическое изменение мгновенного передаточного отношения зубчатой

пары. Дискретный характер нагружения связан прежде всего с внезапным приложением и снятием нагрузки на зубе при входе и выходе из зацепления.

В процессе эксплуатации механических систем происходят необратимые изменения зазоров вследствие износа деталей сопряжений и контактирующих поверхностей силовых элементов приводов, что существенно влияет на условия формирования и величину динамических нагрузок. Изменение технического состояния приводов и трансмиссий сопровождается изменением вибрационных характеристик.

Разрушение рабочих поверхностей (питтинг) влияет на характер вибрации во всем частотном диапазоне, поскольку контактное взаимодействие поврежденных поверхностей, а также разрушение масляной пленки приводит к возникновению ударов, которые выявляются по интенсивности высокочастотных гармоник, увеличению случайных составляющих в сигнале вибрации. Дефекты износа проявляются на этапах длительной эксплуатации.

Надежность – свойство изделия сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [4, 5, 6].

Свойство надежности количественно оценивается следующими показателями: наработкой на отказ (среднее время работы изделия между двумя, соседними по времени отказами), коэффициентом готовности или коэффициентом технического использования (отношение времени работы изделия к сумме времени работы, обслуживания и ремонта в течение заданного срока эксплуатации), вероятностью безотказной работы и некоторыми другими. Показатели качества изделия по надежности: отказоустойчивость, отказобезопасность, безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Понятия надежности во времени: наработка, ресурс и срок службы.

Основными показателями надежности являются [7, 8]:

- по безотказности – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов;
- по долговечности – средний и гамма–процентный ресурс;
- по ремонтпригодности – вероятность восстановления.

Под вероятностью  $p(t)$  безотказной работы понимают вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказ изделия.

Если за время  $t$  наработки из числа  $N$  одинаковых изделий были изъяты из-за отказов  $n$  изделий, то вероятность безотказной работы изделия:

$$p(t) = \frac{(N - n)}{N} = 1 - \frac{n}{N}.$$

Вероятность безотказной работы сложного изделия равна произведению вероятностей безотказной работы отдельных его элементов:

$$p(t) = p_1(t) \times p_2(t) \times p_3(t) \times \dots \times p_n(t).$$

Отсюда следует, что чем больше элементов в изделии, тем ниже его надежность. Эксплуатация изделия с низким показателем  $p(t)$  может оказаться нецелесообразной. В разные периоды эксплуатации или испытаний изделий число отказов в единицу времени различно. Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  (опасность отказа) называют отношение числа  $n$  отказавших в единицу времени  $t$  изделий к числу изделий  $(N - n)$ , исправно работающих в данный отрезок времени, при условии, что отказавшие изделия не восстанавливают и не заменяют новыми:

$$\lambda(t) = \frac{n}{(N - n) \times t}$$

Вероятность безотказной работы можно оценить по интенсивности отказов:

$$p(t) = 1 - \lambda(t) \times t$$

Для деталей машин в качестве показателя долговечности используют средний ресурс (математическое ожидание ресурса в часах работы, километрах пробега, миллионах

оборотов) или гамма-процентный ресурс (суммарная наработка, в течение которой изделие не достигает предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах).

Для изделий серийного и массового производства наиболее часто используют гамма-процентный ресурс: для подшипников качения, например, 90 %-ный ресурс.

Под вероятностью восстановления понимают вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния изделия не превысит заданное значение [5, 6].

Основы надежности закладывает конструктор при проектировании изделия (точностью составления расчетной схемы). Определение показателей надежности выполняют методами теории вероятностей, их используют при выборе оптимальных вариантов конструкции.

Надежность зависит также от качества изготовления (неточности влияют на распределение нагрузок в зоне силового взаимодействия) и от соблюдения норм эксплуатации.

Для исследования вопросов механических отказов типа (износ, поломка, выкрашивание, зубчатые передачи) можно применить вероятностно-физические методы как новая технология исследования надежности, а именно диффузионно-монотонное DM - распределение. Это распределение описывает системы, содержащие электромеханические и механические элементы [7, 8, 9]. Механические процессы деградации (механический износ) аппроксимируются марковским случайным процессом с монотонными реализациями. DM – распределение (Diffusive Monotonic) имеет:

- функцию распределения  $F(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right)$

где  $\mu$  - параметр масштаба, значение которой равно обратной величине средней скорости процесса деградации  $\mu = \frac{1}{a}$ .

$\nu$  - параметр формы, представляющий собой коэффициент вариации процесса деградации (скорости деградации).

$\Phi(Z)$  - нормированное нормальное распределение.

- плотность распределения  $f(t, \mu, \nu) = \frac{t + \mu}{\nu\sqrt{2\pi\mu t}} \exp\left[\frac{-(\mu - t)^2}{2\nu^2\mu t}\right]$

Построение графика функции плотности функции вероятности в Mathcad.

Входные даны

$$\mu = 2500, \quad \nu = (1,5 \quad 1,25 \quad 1,0 \quad 0,75 \quad 0,6) \quad \nu = \nu^T$$

График функций  $f(t, \mu, \nu)$   $t = 0 \dots 5000$  час.

Основные числовые характеристики распределения:

- математическое ожидание  $M(T) = \mu\left(1 + \frac{\nu^2}{2}\right)$ ;
- дисперсия  $D(T) = (\mu\nu)^2\left(1 + \frac{5\nu^2}{4}\right)$ ;
- коэффициент вариации  $K_\nu[T] = \nu \frac{\sqrt{4 + 5\nu^2}}{(2 + \nu^2)}$ ;
- вероятность безотказной работы на момент  $t = \tau$ ,  $p(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{\nu\sqrt{\mu t}}\right)$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t) = \left\{ t + \mu \exp\left[\frac{-(\mu - t)^2}{2\nu^2\mu t}\right] \right\} / \nu\sqrt{2\pi\mu t} \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right)$ .

• средний остаточный ресурс ( $T$ ), как соответствующее математическое ожидание при известной функции плотности распределения вероятности начальной наработки  $f(t)$  в виде

$$T = \frac{1}{\Phi\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right)} \left\{ \left[ \mu + \left( \frac{1+V^2}{2} \right) - \tau \right] \Phi\left(\frac{\mu-\tau}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \frac{\mu v^2}{2} e^{\frac{2}{V^2}} \Phi\left(\frac{\mu-\tau}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \frac{v\sqrt{\mu v}}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(\tau-\mu)^2}{2\mu\tau}\right) \right\}$$

Таким образом, применение в качестве теоретической модели DM -распределения позволяет прогнозировать ожидаемую остаточную наработку (ресурс, срок службы) для любого момента времени как на стадии проектирования, когда используется та же информация, которая и для прогнозирования начальной наработки (ресурса, срока службы), так и на стадии эксплуатации, когда есть возможность уточнения начальных оценок характеристик надежности путем использования дополнительной информации при контроле технического состояния системы.

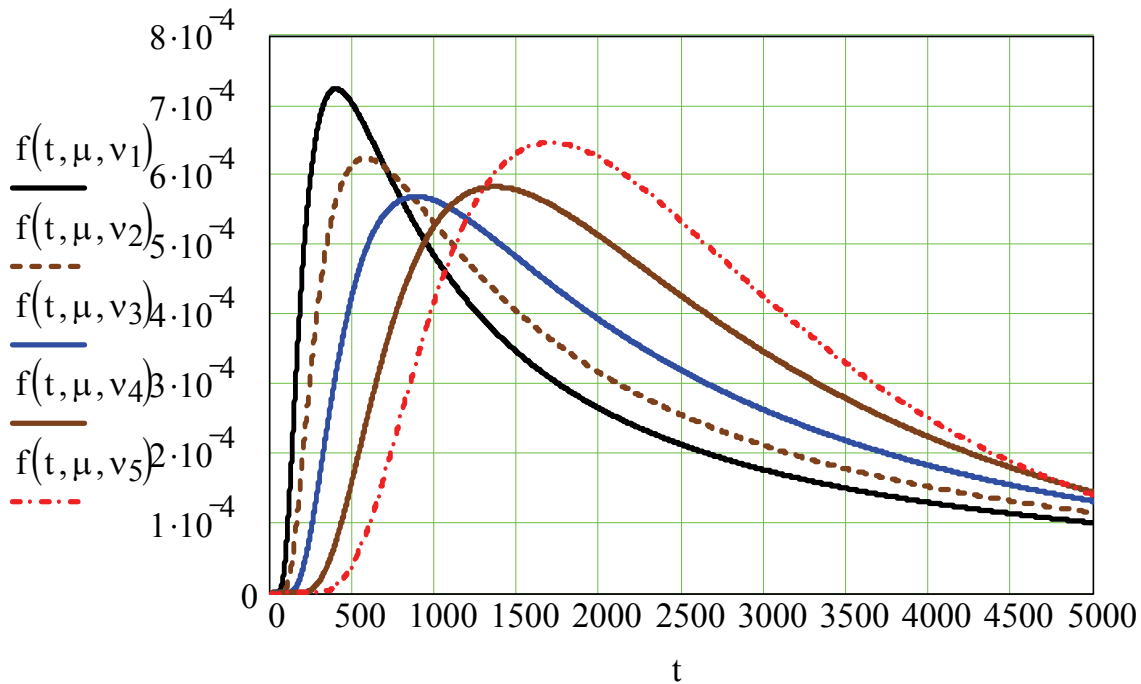


Рисунок 1 – Зависимость  $f(t, \mu, v)$  от  $v$ ,  $\mu = \text{const}$

В теории надежности механических систем все большее распространение получают вероятностно-физические модели надежности [8, 9], основанные на использовании законов распределения отказов, вытекающих из анализа физических процессов деградации приводящих к отказу. При этом физические процессы деградации рассматриваются в виде случайных процессов. Этот подход к исследованию надежности получил название вероятностно-физический, поскольку он связывает значение вероятности отказа и физического параметра, вызывающего отказ.

Вследствие этого параметры получаемого вероятностного распределения отказов имеют определенный физический смысл. В частности, в рассматриваемых двухпараметрических вероятностно-физических моделях отказов параметр масштаба  $\mu$  совпадает со значением средней скорости изменения определяющего параметра, а параметр формы  $V$  с коэффициентом вариации этой скорости.

Таким образом, вероятностно-физические распределения наработки до отказа (модели отказов) получены математически корректно и специально для описания явления надежности в отличие от строго вероятностных моделей отказов (экспоненциального, Вейбулла, логарифмически нормального и других распределений), ранее заимствованных из теории вероятностей и математической статистики для решения задач надежности.

Под определяющими параметрами в данном случае имеются в виду такие “первичные” физические параметры (скопление дислокаций и других дефектов, пластические и упругие деформации, механический износ, проводимость контактирующих, сплошных проводников тока, и т.д.), превышение которыми определенных предельных значений приводит к отказу. Функциональные параметры, как правило, являются “вторичными” характеристиками, свидетельствующими о расходовании ресурса и наступлении отказа, но они также успешно используются в качестве прогнозирующих параметров. DM- распределение является эффективным

подходом, для исследования механического износа в зубчатых передачах, процессов старения и ресурса и других деградиционных процессов. Однако в литературы этот подход более известен как исследование возникновения так называемых постепенных или параметрических отказов.

Определение “вероятностно-физическая” модель надежности является более общим, чем определение “параметрическая” модель надежности. Есть много изделий, в которых протекают многочисленные физические процессы деградации, т.е. имеется множество определяющих параметров, способных вызвать отказ изделия. Например, у изделий электронной техники типа интегральных схем практически невозможно назвать все определяющие параметры, вызывающие отказы многочисленных компонентов, и тем более измерить их. В таком случае остается возможность только статистической оценки средней скорости обобщенного процесса деградации изделия. Однако несомненно то, что в этих изделиях протекают физические процессы деградации, которые определяют соответствующую вероятность разрушения, т.е. этим изделиям соответствует определенная вероятностно-физическая модель надежности.

Диффузионные распределения как вероятностно-физические модели надежности имеют большое преимущество перед строго вероятностными моделями в том, что их параметры могут быть оценены как на основе статистики отказов (в этом случае они рассматриваются как строго вероятностные модели), так и на основании анализа статистических характеристик физического процесса, приводящего к отказу, а также при совместном использовании статистической информации обоих типов. Как известно, решение основных задач надежности (как при априорных, так и апостериорных методах) в конечном итоге сводится к оценке параметров распределения искомой величины (наработки до отказа, на отказ, ресурс и т.д.).

Следует отметить, что важнейшим фактором, способствующим решению разнообразных задач надежности при использовании диффузионных распределений, является то, что параметр формы этих распределений представляет собой обобщенную характеристику изучаемых взаимобратимых процессов (процесса разрушения и распределения наработки) – коэффициент вариации. А коэффициент вариации как обобщенная характеристика с достаточной для инженерной практики точностью может быть оценен априори на основании многочисленных (многодесятилетних) исследований как процессов разрушений (прочности, усталости, изнашивания и др.), так и статистических данных об отказах при испытаниях и эксплуатации изделий-аналогов. Именно благодаря конкретной физической интерпретации параметров диффузионных распределений удалось на их основе решить такие важные задачи надежности, как расчет надежности систем, планирование контрольных и определительных испытаний на надежность, оценка (прогнозирование) остаточного ресурса (срока службы), расчет запасных частей, расчет долговечности электронной аппаратуры, расчет надежности типовых деталей машин на основе прочностных характеристик материалов деталей и условий нагружения во времени и другие задачи [8, 9].

В случае DM-распределения коэффициент вариации наработки до отказа совпадает с коэффициентом вариации процесса деградации при  $v = 1$ , с уменьшением  $V$  менее единицы или с увеличением более единицы коэффициент вариации распределения наработки до отказа несколько меньше коэффициента вариации процесса деградации. При значениях  $v = 0.3, \dots, 1.3$  максимальное отклонение составляет порядка 4%. В практике измерения случайных величин это достаточно высокая точность.

Этот факт (совпадение коэффициентов вариации распределения наработки с коэффициентом вариации процесса деградации) имеет весьма важное прикладное значение, в частности открывает возможность оценки параметра формы диффузионных распределений на основании анализа статистических характеристик процессов деградации, приводящих к отказу.

#### **Выводы:**

1. Исследования показывают, что при интенсивных износах уже после 20 тыс. км пробега средние отклонения от номинальных значений крутящего момента возрастают на 60...70 %.
2. Из анализ статистических данных, характер повреждений силовых элементов автомобилей обусловлен тем, что взаимодействие поверхностей деталей осуществляется в различных условиях, которые определяются конструктивными, технологическими и эксплуатационными особенностями.
3. Применение новых технологий позволяет значительно повысить технический уровень и эксплуатационные показатели машин.
4. Диффузионные распределения как вероятностно-физические модели надежности имеют большое преимущество перед строго вероятностными моделями в том, что их параметры могут быть оценены как на основе статистики отказов, так и на основании анализа статистических характеристик физического процесса, приводящего к отказу.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Решетов Д. Н. Детали машин.- М.: Машиностроение, 1989.- 496 с.
2. Прикладная механика. Под общ. ред. А.Т. Скойбеды.- Мн.: Выш. шк., 1997.- 522 с.
3. Гулиа Н. В., Клоков В. Г., Юрков С. А. Детали машин.- М.: Издательский центр "Академия", 2004. — С. 416.
4. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. - Київ: Держстандарт України, 1994. - 92 с.
5. ДСТУ 2862-94. Надежность техники. Методы расчета показателей надежности. Общие требования. – Введ. 01.01.96. – 39 с.
6. ДСТУ 3942-99. Надежность техники. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч. 2: Диффузионное распределение. – Введ. 01.07.00. – 34 с.
7. Аль-Амморі Алі. Елементи теорії надійності комп'ютеризованих систем / Навч. посібник з розв'язанням задач у Mathcad – К.: НТУ, 2016. – 240 с.
8. Грибов В.М., Козарук В.В. Основы теории надежности авиационной техники. Конспект лекций.– К.: КМУГА, 1994.–268с.
9. Strelnikov V. The Status and Prospects of Reliability Technology – Part 1 // RAC Jornal. – 2001. – N 1. – P. 1–4.

## REFERENCES

1. Reshetov D. N. Detali mashin.- M.: Mashinostroenie, 1989.- 496 s.
2. Prikladnaya mehanika. Pod obsch. red. A.T. Skoybedyi.- Mn.: Vyish. shk., 1997.- 522 s.
3. Gulia N. V., Klovov V. G., Yurkov S. A. Detali mashin.- M.: Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2004. — S. 416.
4. Nadijnist` texniki`. Terminy` ta vy`znachennya: DSTU 2860-94. - Ky`yiv: Derzhstandart Ukrayiny`, 1994. - 92 s.
5. DSTU 2862-94. Nadezhnost tehniki. Metodyi rascheta pokazateley nadezhnosti. Obschie trebovaniya. – Vved. 01.01.96. – 39 s.
6. DSTU 3942-99. Nadezhnost tehniki. Planyi ispytaniy dlya kontrolya sredney narabotki do otkaza (na otkaz). – Ch. 2: Diffuzionnoe raspredelenie. – Vved.01.07.00. – 34 s.
7. Al-Ammorl Ali. Elementi teoriYi nadlynosti komp`yuterizovanih sistem / Navch. posIbnik z rozv`yazannyam zadach u Mathcad – K.: NTU, 2016. – 240 s.
8. Gribov V.M., Kozaruk V.V. Osnovy teorii nadezhnosti aviatsionnoy tehniki. Konspekt lektsiy.– K.: KMUGA, 1994.–268s.
9. Strelnikov V. The Status and Prospects of Reliability Technology – Part 1 // RAC Jornal. – 2001. – N 1. – P. 1–4.

## РЕФЕРАТ

Хафед И. С. Абдулсалам Информационно-аналитический анализ эффективности работы зубчатых передач / И. С. Хафед // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

На основе анализа статистических данных, показано что износ, является опасным явлением среди отказов деталей различных агрегатов и систем автомобилей и составляет от 47,2% до 83%. Поэтому исследование процессов изнашивания в транспортных машинах является актуальной проблемой которая требует разносторонних подходов. Так как процессы изнашивания, старения, деградации в зубчатых передачах являются монотонными, поэтому целесообразно изучать эти вопросы с помощью вероятностно-физической модели, основанной на использовании законов распределения отказов, вытекающих из анализа физических процессов деградации, приводящих к отказу.

Вероятностно-физическая модель надежности является более общим определением, чем определение “параметрическая” модель надежности. Есть много изделий, в которых протекают многочисленные физические процессы деградации, т.е. имеется множество определяющих параметров, способных вызвать отказ изделия.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА, ДИФФУЗИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СРОК СЛУЖБЫ, ИЗНАШИВАНИЕ, СТАРЕНИЕ, ДЕГРАДАЦИЯ.



## ABSTRACT

Hafed I.S. Abdulsalam Information-analytical analysis of the gears efficiency / I.S. Hafed // Information processes, technologies and systems to transport. - K.: NTU - 2016 – Vol. 4.

Is shown that the wear is dangerous phenomenon among the failures of various units parts and systems of cars and equal from 47.2% to 83%, based on the statistical data analysis. Therefore, the study of process wear in the transport vehicles is an urgent problem that requires a multifaceted approaches. Since the wear processes, aging, degradation in the gears are monotone, so it is advisable to study these questions by using probabilistic-physical model, which is based on the use of refusals distribution laws derived from the analysis of physical degradation process, which lead to failures.

Probabilistic-physical model of reliability is more general definition than the definition of "parametrical" model of reliability. There are many products in which flow numerous physical processes of degradation, i.e. there are many determining parameters that can cause failure of the product.

KEYWORDS: GEARS, DIFFUSION DISTRIBUTIONS, SERVICE LIFE, WEAR, AGING, DEGRADATION.

## РЕФЕРАТ

Хафед І. С. Абдулсалам Інформаційно-аналітичний аналіз ефективності роботи зубчастих передач / І. С. Хафед // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. - К.: НТУ - 2016. – Вип. 4.

На основі аналізу статистичних даних, показано що знос, є небезпечним явищем серед відмов деталей різних агрегатів і систем автомобілів і становить від 47,2% до 83%. Тому дослідження процесів зношування в транспортних машинах є актуальною проблемою яка вимагає різнобічних підходів. Так як процеси зношування, старіння, деградації в зубчастих передачах є монотонними, тому доцільно вивчати ці питання за допомогою імовірно-фізичної моделі, яка базується на використанні законів розподілу відмов, які слідують із аналізу фізичних процесів деградації, що призводять до відмови.

Імовірно-фізична модель надійності є більш загальним визначенням, ніж визначення "параметрична" модель надійності. Є багато виробів, в яких протікають численні фізичні процеси деградації, тобто є безліч визначальних параметрів, здатних викликати відмову виробу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗУБЧАСТА ПЕРЕДАЧА, ДИФУЗІЙНИЙ РОЗПОДІЛ, ТЕРМІН СЛУЖБИ, ЗНОШУВАННЯ, СТАРІННЯ, ДЕГРАДАЦІЯ.

### АВТОР:

Хафед І. С. Абдулсалам, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

### AUTHOR:

Hafed I.S. Abdulsalam, postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukrainian,.

### АВТОР:

Хафед І. С. Абдулсалам, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна,

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Матейчик В. П., д.т.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Захарченко В.О., к.т.н., професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

### REVIEWERS:

Mateychyk V. P., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Zaharchenko V.O., PhD, professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ІНТЕГРОВАНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

УДК 656.025.6 : 519.876.2  
UDC 656.025.6 : 519.876.2

## ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ НА МАРШРУТІ

Омаров Д.М., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## EXAMPLE MODELING OF CITY BUSES ROUTE

Omarov D.M., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ НА МАРШРУТЕ

Омаров Д.М., аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

При моделюванні розв'язується задача визначення оптимальної кількості *резервних* автобусів. Задача резервування автобусів у загальному випадку може бути описана в термінах теорії надійності або теорії масового обслуговування: сходження автобуса з лінії еквівалентне відмові елемента системи; автобус, який очікує виходу на маршрут для підміни автобуса, що зійшов з лінії, знаходиться у *ненавантаженому резерві* (резервний елемент або його стан, при якому імовірність відмови цього елемента до його використання дорівнює нулю); послідовно виникаючі недовипуски і сходження автобусів з лінії утворюють потік вимог на заміну і т. ін. [1, 2].

Приймаючи імовірність сходження (недовипуску) одного автобуса рівною  $p_{cx\_n}$  при  $A$  працюючих автобусах, маємо

$$P_3 = 1 - (1 - p_{cx\_n})^A, \quad (1)$$

де  $P_3$  – імовірність виникнення збою у процесі перевезень.

Якщо припустити, що:

- *наявність* автобусів в резерві автопідприємства може приймати два умовних значення, а саме: 0 – якщо вони відсутні (або їх недостатньо) і 1 – якщо вони є в наявності у необхідній кількості;
  - *укомплектованість* маршруту автобусами може приймати також два умовних значення, а саме: 0 – якщо маршрут частково не укомплектований і 1 – якщо повністю укомплектований,
- то з точки зору теорії статистики теоретично можливі чотири ситуації, які можна представити у вигляді наступної таблиці:

| Назва ситуації  | Наявність резервних автобусів | Укомплектованість маршруту автобусами |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Перша</i>    | 0                             | 0                                     |
| <i>Друга</i>    | 0                             | 1                                     |
| <i>Третя</i>    | 1                             | 0                                     |
| <i>Четверта</i> | 1                             | 1                                     |

Ці ситуації мають таке пояснення:

- *перша*: резерву недостатньо, або він взагалі відсутній і тому утворюється черга на поповнення маршруту резервними автобусами замість автобусів, що зійшли з лінії;
- *друга*: резерв автобусів повністю використаний, але маршрут повністю укомплектований рухомим складом;
- *третя*: ця ситуація може мати три випадка – *перший*, якщо кількість резервних автобусів менша кількості автобусів, які зійшли з маршруту (повторюється *перша* ситуація); *другий*, якщо кількість резервних автобусів дорівнює кількості автобусів, які зійшли з маршруту (повторюється *друга* ситуація); *третій*, якщо кількість резервних автобусів більше кількості автобусів, які зійшли з маршруту (повторюється *четверта* ситуація);
- *четверта*: резерв (частина резерву) простоює через повну укомплектованість маршрутів рухомим складом.

Аналізуючи наведені ситуації можна зробити наступні висновки, а саме:

- друга ситуація повністю задовольняє умовам нормальної експлуатації автобусів на маршруті і тому вона може бути викрислена з подальшого розгляду;
- третя ситуація повністю моделюється іншими ситуаціями і тому вона також може бути викрислена з подальшого розгляду.

*Перша ситуація* супроводжується втратами *першого* роду, які виникають внаслідок появи кратних інтервалів руху, що приводить до підвищення сумарних витрат часу пасажирів на пересування.

*Четверта ситуація* супроводжується втратами *другого* роду, наявність яких викликає непродуктивні простої деякої кількості автобусів в резерві внаслідок відсутності потреби в них на даний момент часу. Якщо б цього не було, то використання даних автобусів на маршрутах привело б до зменшення витрат часу пасажирів на пересування.

Можливі декілька варіантів постановки задачі визначення оптимального числа резервних автобусів. Наприклад, можна задатись **імовірністю нестачі резервних автобусів** і визначити їх потрібне число, або можна мінімізувати математичне сподівання сумарних втрат часу пасажирів на очікування автобуса, тобто втрат як *першого*, так і *другого* роду.

Число резервних автобусів для компенсації недовипуску автобусів на маршруті (резерв АТП) доцільно визначити *першим* із зазначених способів, тобто знаходженням **імовірності нестачі резервних автобусів**. Це пояснюється тим, що із АТП випускають всі налагоджені автобуси, що знаходяться в його розпорядженні (лінійні і резервні). Тому втрати *другого роду* практично відсутні.

Якщо імовірність сходження (недовипуску)  $p_{cx\_n}$  як резервних, так і лінійних автобусів однакова, то імовірність  $P_n$  недовипуску автобусів із  $A$  запланованих випуску на лінію можна знайти за формулою розподілу Бернуллі [3]:

$$P_n = C_A^m \cdot p_{cx\_n}^m \cdot (1 - p_{cx\_n})^{A-m}, \quad (2)$$

де  $m$  – кількість недовипущених автобусів.

Якщо при цьому імовірність недовипуску резервного автобуса є дуже малою, то

$$P_n = C_{A-R}^m \cdot p_{cx\_n}^m \cdot (1 - p_{cx\_n})^{A-m-R}, \quad (3)$$

де  $R$  – кількість резервних автобусів.

Складова  $C_A^m$  являє собою кількість сполук, тобто

$$C_A^m = \frac{A!}{m!(A-m)!} = \frac{A \cdot (A-1) \cdot (A-2) \cdot \dots \cdot [A-(m-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot m}. \quad (4)$$

Заданося тепер імовірністю нестачі  $R$  резервних автобусів  $P_R$ . Резерву буде не вистачати, якщо недовипуск  $m$  автобусів на лінію буде перевищувати кількість резервних автобусів  $R$ . Імовірність того, що недовипуск буде рівним або меншим за прийняте число резервних автобусів  $R$  складає

$$P_R (0 \leq m \leq R) = \sum_{m=0}^R P_n. \quad (5)$$

Таким чином, накопичуючи суму імовірностей  $P_R (0 \leq m \leq R)$  при різних значеннях  $m$ , розрахунок можна припинити у випадку, коли після додавання чергового додатка накопичена сума перевищить значення  $(1 - P_R)$ . Поточне значення  $m$ , при якому наступить така ситуація, і є шуканим числом резервних автобусів  $R$ .

Кількість резервних автобусів у розпорядженні центральної диспетчерської служби (ЦДС) визначають за методикою, заснованою на мінімізації математичного сподівання суми втрат *першого* і *другого* роду. Для цього необхідне отримати залежності, що дозволяють розраховувати ці втрати для різних варіантів (комбінацій) сходжень автобусів з маршруту [4].

*Визначення часу очікування пасажиром посадки в автобус з урахуванням втрат першого роду.* Час очікування пасажиром автобуса можна подати як складову двох компонент: основного часу очікування  $t_{оч}^{осн}$ , який визначається інтервалом і регулярністю руху автобусів на маршруті, і *допоміжного* часу, що залежить від відмови пасажиру у посадці в автобус внаслідок його переповнення. Величина  $t_{оч}^{осн}$  розраховується за формулою

$$t_{оч}^{осн} = \frac{I + \frac{\bar{\delta}^2}{I}}{2} = \frac{\bar{I}_{эф}}{2}, \quad (6)$$

де  $I$  – планований розрахунковий інтервал руху автобусів на маршруті;

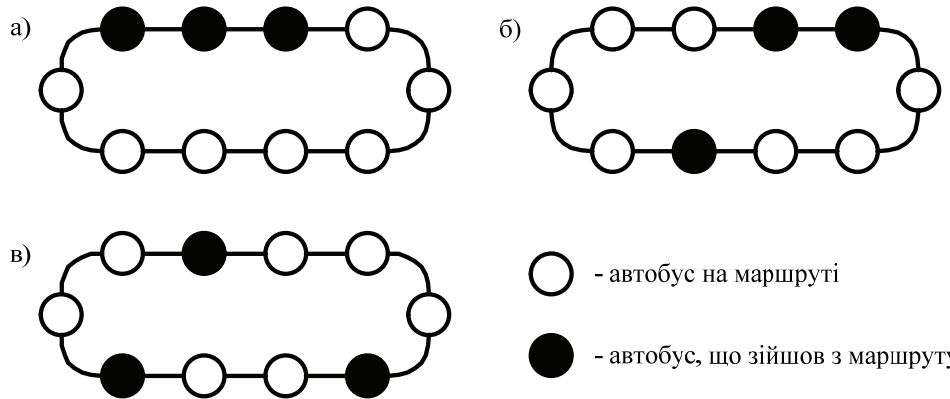
$\bar{\delta}$  – стандартне відхилення інтервалу руху автобусів від розкладу руху по маршруту;

$\bar{I}_{эф}$  – середній маршрутний ефективний інтервал руху автобусів.

Під *ефективним* інтервалом розуміють такий, який при *регулярному* русі автобусів на маршруті забезпечив би такий час очікування, як і *плановий* при *нерегулярному* русі [5].

При сходженні автобусів з маршрутів або недовипуску автобусів із АТП в розкладі руху утворюються «вакансії», які приводять до виникнення *кратних* інтервалів і збільшенню втрат часу пасажирів на очікування. На рисунку 1, як приклад, показані можливі варіанти сходження з маршруту трьох автобусів.

В практичних розрахунках, пов'язаних з оцінкою надійності перевізного процесу, зазвичай невідомо заздалегідь, в якому місці маршруту виникла «вакансія». Ця обставина приводить до збільшення величини  $t_{оч}^{осн}$ , яке враховується коефіцієнтом  $K_A^T$ . Тоді

$$t_{оч}^{осн} = \frac{\bar{I}_{эф}}{2} \cdot K_A^T. \quad (7)$$


а) три автобуси зійшли підряд;  
б) два автобуси зійшли підряд, а третій в іншому місці;  
в) всі три автобуси зійшли в різних місцях.

○ – автобус на маршруті  
● – автобус, що зійшов з маршруту

Рисунок 1 – Варіанти сходжень трьох автобусів з маршруту:

- а) три автобуси зійшли підряд;
- б) два автобуси зійшли підряд, а третій в іншому місці;
- в) всі три автобуси зійшли в різних місцях.

Значення коефіцієнта визначається із умови:

$$K_A^T = \begin{cases} (A + m + 1)/(A - m + 1), & \text{якщо } 0 < m < A; \\ 1, & \text{якщо } m = 0; \\ 2 \cdot A + 1, & \text{якщо } m = A. \end{cases} \quad (8)$$

Визначення часу очікування пасажиром посадки в автобус з урахуванням втрат другого роду. Відомо, що інтервал руху автобусів на маршруті обернено пропорційний їх числу. Так як внаслідок випадковості процесу заздалегідь невідомі маршрути, на яких з найбільшим ефектом можуть бути використані резервні автобуси, то можна передбачити, що інтервали на маршрутах і відповідно середній маршрутний інтервал збільшується пропорційно надлишку автобусів. Тому

$$\bar{t}_{оч} = \frac{\bar{I}_{эф} \cdot (A_{л} - R + m)}{2 \cdot A_{л}} \quad \text{при } R > m, \quad (9)$$

де  $A_{л}$  – прийнята у даному варіанті кількість автобусів на лінії.

Безпосередній вибір оптимальної кількості резервних автобусів виконують у такій послідовності [6]:

1. На підставі евристичних міркувань ініціюють можливу ситуацію

$$S = \langle Z_{cx}, Z_v, Z_{лр} \rangle, \quad (10)$$

де  $Z_{cx}$  – кількість сходжень автобуса із маршрутної лінії;

$Z_v$  – кількість «вакансій» в розкладі руху;

$Z_{лр}$  – залишок автобусів в резерві.

2. Розраховують імовірність появи цієї ситуації  $P(S)$ .

3. Розраховують витрати часу на очікування пасажиром посадки в автобус з урахуванням відповідно втрат *першого* ( $t_1^{oc}$ ) і *другого* ( $t_2^{oc}$ ) роду.

4. Визначають середній зважений час очікування:

$$t_{св}^{oc} = (t_1^{oc} + t_2^{oc}) \cdot P(S). \quad (11)$$

5. Розрахунки за п.п. 1-4 повторюють для числа автобусів в резерві  $R+1$ ,  $R+2$ , ... . Оптимальним буде варіант, який забезпечує мінімальні втрати часу.

Імітаційне моделювання даної транспортної системи дає можливість відобразити реальні обставини, що виникають в процесі її функціонування, і вирішити такі задачі [7]:

- урахувати різні перехідні стани системи;
- дослідити характеристики транспортної системи в залежності від кількості резервних автобусів, їх дислокації і т. ін.;
- урахувати контрольний розподіл збоїв у русі автобусів за часом і можливість їх повернення на маршрут із ремонту за поточну добу;
- урахувати зміну кількості резервних і лінійних автобусів в експлуатації в окремі періоди доби у відповідності з пасажиропотоками і т. ін.

Специфічність процесу міських автобусних перевезень полягає у тому, що вони мають яскраво виявлену добову циклічність [8]. В той же час у межах доби або зміни окремі стани процесу (наприклад, сходи) настають нерегулярно, у випадкові моменти часу.

Виходячи з цього, при розробці імітаційної моделі для відображення поведінки системи виділяється *зовнішній цикл* – доба, і *внутрішній цикл* – частина доби. Зовнішній цикл побудовано за “принципом  $\Delta t$ ”, а внутрішній – за принципом *особливих станів*.

При розробці моделі використовуються такі поняття:

- *доба* - цикл роботи автобусів, починаючи з випуску на маршрути і закінчуючи поверненням автобусів в парк;
- *вакансії* - місця в розкладі руху, фактично незабезпечені автобусами;
- *заміщення* (недовипуску або сходу) - вихід резервного автобуса для ліквідації вакансії;
- *черга на заміщення* - черговість вакансій з домовленим пріоритетом (може просуватися також за рахунок повернення на маршрути відремонтованих автобусів);
- *дисципліна черги* - порядок надання пріоритету;
- *довипуск* - випуск лінійного автобуса на маршрут із запізненням;
- *повернення на лінію* - повернення лінійного автобуса на маршрут із ремонту в поточну добу;
- *особливі моменти* (ОМ) - моменти часу в межах поточної доби, в які транспортна система зазнає якісних змін (сходження, недовипуски, повернення на лінію, заміщення, довипуски, кінець доби, зміна планової кількості автобусів в експлуатації протягом доби);
- *інтервал стаціонарного стану* (ІСС) - інтервал часу, протягом якого система перебуває в якісно однорідному стані, тобто в межах даного інтервалу немає особливих моментів. Межами ІСС є особливі моменти.

В моделі прийняті такі вихідні передумови і припущення:

- при наявності резерву заміна резервним автобусом недовипущеного відбувається миттєво;
- недовипуск автобусів виникає тільки в заздалегідь задані періоди доби (часові межі відмовлення) і залежить від числа автобусів, що випускаються на лінію в дану годину доби;
- інтенсивність сходів залежить від кількості автобусів, що знаходяться в експлуатації у розглядуваний період доби;
- заміщення автобуса, що зійшов з лінії, відбувається при наявності резерву через деякий

модельований проміжок часу;

- при поверненні на лінію автобуса, який заміщався резервним, звільнення останнього, тобто резервного відбувається миттєво;

- кожна нова доба починається в однакових умовах (для кожної реалізації), тобто, план випуску автобусів і статистичні характеристики збоїв постійні;

- резервні автобуси, які знаходяться у черзі на заміщення (у відстої), вважаються такими, що знаходяться у ненавантаженому резерві;

- резервні автобуси, які заміщують ті, що зійшли з лінії, мають однакові з лінійними автобусами показники надійності;

- зміна планової кількості лінійних і резервних автобусів відбувається стрибками в заздалегідь зумовлені моменти часу (за такі прийняті межі годин доби);

- дисципліна просування черги вакансій заздалегідь задана;

- кожний ОМ виникає тільки в результаті зміни стану одного із автобусів системи. У випадку, коли два або більше ОМ співпадають (наприклад, одночасно сходять два автобуси), дані моменти розглядаються як різночасні, розділені фіктивним інтервал стаціонарного стану нульової тривалості.

Алгоритм, який реалізує описану модель, зображено на рисунку 2. Опишемо роботу кожного блоку цього алгоритму.

*Блок 1.* Задавання значення резерву і режиму його роботи.

*Блок 2.* Розподіл за маршрутами лінійних автобусів.

*Блок 3.* Первинна організація масивів інформації.

*Блок 4.* Формування на часовій осі ОМ:  $T_i^n$  – недовипуску  $i$ -го автобуса;  $T_j^c$  – сходження  $j$ -го автобуса;  $T_k^n$  – повернення  $k$ -го автобуса.

*Блок 5.* Формування допоміжного масиву ІСС.

*Блок 6.* Вибір чергового ОМ.

*Блок 7.* Перевірка: чи даний момент відповідає  $T_k^n$ . Якщо так, то управління передається до блоку 8, якщо ні – до блоку 27.

*Блок 8.* Перевірка: чи даний момент є  $T_k^n$ . Якщо є, то управління передається до блоку 9, якщо ні – до блоку 17.

*Блок 9.* Перевірка: чи був направлений автобус із резерву? Якщо був направлений, то управління передається до блоку 10, якщо ні – до блоку 12.

*Блок 10.* Перевірка: чи є черга на заміщення? Якщо є, то управління передається до блоку 13, якщо нема – до блоку 11.

*Блок 11.* Збільшення кількості автобусів в резерві на одиницю.

*Блок 12.* Формування або зміна дисципліни черги на заміщення. Передача управління до блоку 16.

*Блок 13.* Формування часу  $T_3$  на заміщення із резерву.

*Блок 14.* Корекція масиву ІСС введенням в нього моменту  $T_3$ .

*Блок 15.* Перевірка: чи даний ОМ дорівнює  $T_j^c$ . Якщо дорівнює, то управління передається до блоку 16, якщо ні – до блоку 12.

*Блок 16.* Розрахунок змодельованих величин за період від розглядуваного до наступного ОМ і накопичення результату. Передача управління до блоку 24.

*Блок 17.* Перевірка: чи даний момент дорівнює  $T_i^n$ ? Якщо так, то управління передається до блоку 18, якщо ні – до блоку 21.

*Блок 18.* Перевірка: чи є ще резерв автобусів? Якщо є, то управління передається до блоку 19, якщо ні – до блоку 12.

*Блок 19.* Зменшення резерву автобусів на одиницю.

*Блок 20.* Заміщення резервним автобусом відсутнього.

*Блок 21.* Перевірка: чи даний ОМ дорівнює  $T_j^c$ . Якщо дорівнює, то управління передається до блоку 22, якщо ні – до блоку 20.

*Блок 22.* Перевірка: чи є ще резерв автобусів? Якщо є, то управління передається до блоку 23, якщо ні – до блоку 12.

*Блок 23.* Зменшення резерву автобусів на одиницю. Передача управління до блоку 13.

*Блок 24.* Перевірка: чи закінчилась доба? Якщо так, то управління передається до блоку 25, якщо ні – до блоку 6.

Блок 25. Лічильник кількості діб.

Блок 26. Перевірка: чи достатньо реалізацій протягом доби? Якщо так, то управління передається до блоку 28, якщо ні – до блоку 4.

Блок 27. Корекція даних, пов'язана зі зміною кількості автобусів в експлуатації у зв'язку з переходом в черговий період доби. Передача управління до блоку 16.

Блок 28. Друк результатів.

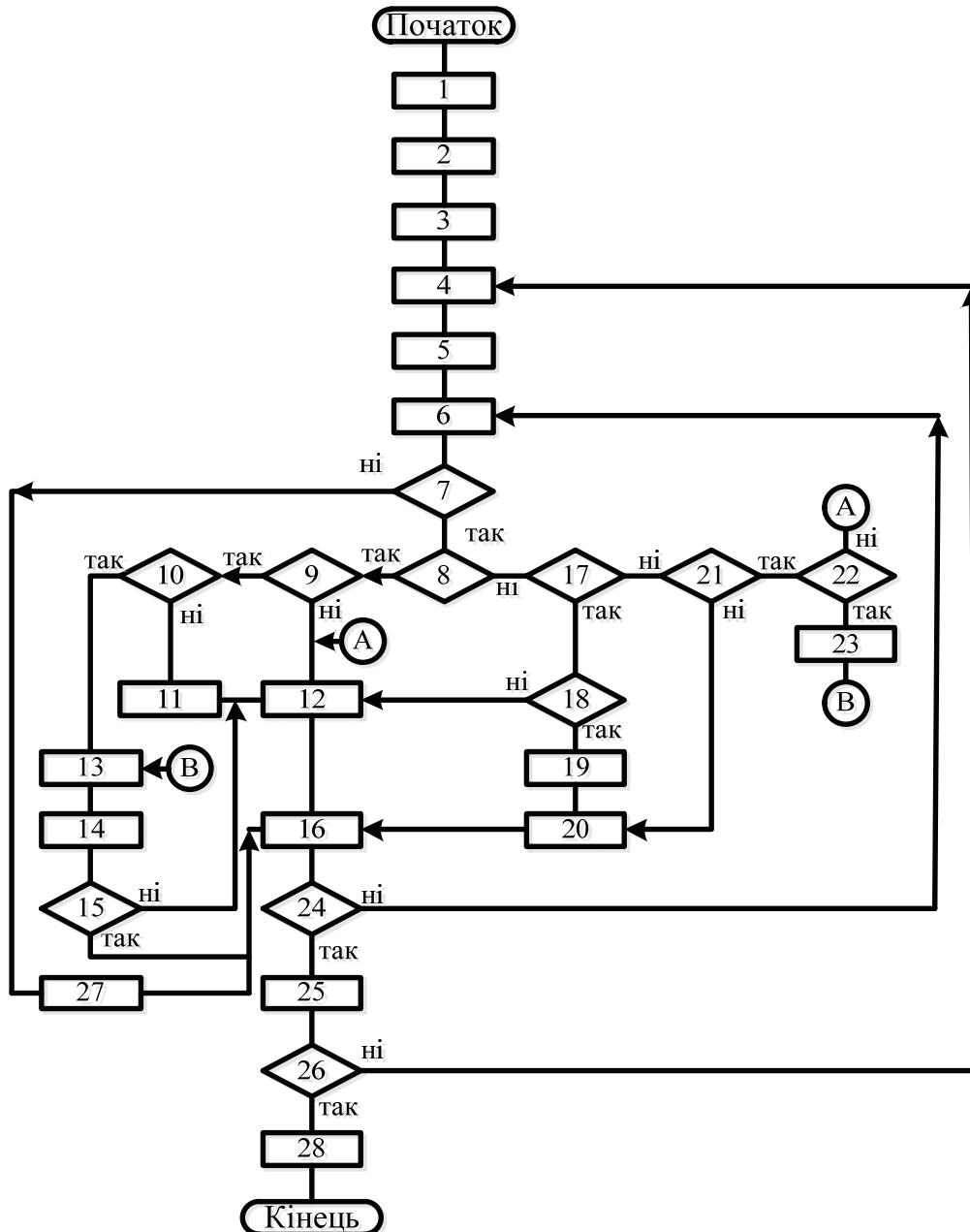


Рисунок 2 – Структурна схема алгоритму статистичного моделювання роботи міських автобусів

Особливі моменти у моделі формуються таким чином.

Використовуючи установлені попередньо статистичні закони недовипуску, сходів і повернення автобусів, відомими способами моделюють число даних подій за поточну добу і моменти їх початку і закінчення [9]. Оскільки при моделюванні необхідна послідовна за часом виконання вибірка ОМ, то в блоці 6 формується допоміжний масив – *перекодувач*, в якому змодельовані ОМ розташовують в хронологічному порядку. Подалі цей масив при необхідності коригується, так як моменти заміщення Тз, знайдені раніше, не були включені до масиву.

Вихідна інформація включає такі дані:

- розподіл інтенсивності сходів і недовипуску автобусів в окремі періоди доби;
- розподіл тривалості простою автобусів в ремонті;
- розподіл часу на підключення резервного автобуса замість того, який зійшов з лінії;
- загальна кількість автобусів в резерві;
- обсяг перевезень на маршрутах;
- зміна кількості автобусів в експлуатації в окремі періоди доби.

Модель дає можливість оцінити в залежності від прийнятої кількості рухомого складу в резерві такі параметри:

- середній час очікування пасажиром автобуса;
- відмовлення в посадці;
- простої резервних автобусів;
- дефіцит автобусів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кудинова Л.А. Применение теории систем к проблеме управления на городском пассажирском транспорте / Л.А. Кудинова // Экономические основы совершенствования управления на автомобильном транспорте. – СПб.: КОРОНА принт, 2012. – 315 с.
2. Босняк М.Г. Пасажирські автомобільні перевезення / М.Г. Босняк // Навчальний посібник для студентів напрямку 0646 – транспортні технології. – К.: Видавничий Дім “Слово”, 2009. – 271 с.
3. Прокудін Г.С. Комп’ютерні технології статистичного аналізу на транспорті / Г.С. Прокудін, В.Д. Данчук, Цуканов О.І., Цимбал Н.М. // Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.05010101 – Інформаційні управляючі системи та технології. – К.: НТУ, 2013. – 280 с.
4. Прокудін Г.С. Підвищення якості обслуговування пасажирів в місті Кривий Ріг / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, Д.М. Омаров // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції “Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні”. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2015. – С. 222 – 223.
5. Сокульський О.Е. Методика визначення інтервалу руху пасажирського транспортного засобу на маршруті МПТС, з урахуванням пасажиропотоків, коефіцієнту заповнення салону та часу чекання пасажиром на зупинці / О.Е. Сокульський, К.Ю. Гілевська, Д.Л. Панченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал, Вип. 14. – К.: НТУ, 2014. – С. 223 – 232.
6. Лашених О.А. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем / О.А. Лашених, О.Ф. Кузькін // Навчальний посібник. – Запоріжжя, 2006. – 435 с.
7. Прокудін Г.С. Імітаційне моделювання у транспортних системах / Г.С. Прокудін, М.Т. Дехтярук // Вісник НТУ, № 9. – К.: НТУ, 2004. – С. 181–189.
8. Омаров Д.М. Удосконалення організації перевезень пасажирів у великих містах / Д.М. Омаров, Г.С. Прокудін, О.Г. Прокудін // Управління проектами, системний аналіз і логістика, Науковий журнал, Вип. 16, Част. 1. – К.: НТУ, 2015. – С.125– 135.
9. Омаров Д.М. Підвищення продуктивності та якості автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях / Д.М. Омаров, Г.С. Прокудін, О.Г. Прокудін // Вісник Національного транспортного університету, Науково-технічний збірник, Вип. № 1 (34). – К.: НТУ, 2016. – С. 378 – 387.

#### REFERENCES

1. Kudinova L.A. Primenenie teorii system k probleme upravleniya na gorodskom pasazhirskom transporte [The application of systems theory to the problem of governance in the urban passenger transport]. Saint Petersburg, KORONA print Publ., 2012. 315 p. (Rus)
2. Bosniak M.G. Pasazhyrski avtomobilni perevesennya [Passenger transport by road]. Kyiv, Vydavnychiy Dim “Slovo” Publ., 2009. 271 p. (Ukr)
3. Prokudin G.S., Danchuk V.D., Tsukanov O.I., Tsymbal N.M. Kompiuterni tekhnologii statystychnogo analizu na transporti [Computer technology statistical analysis of transport]. Kyiv, NTU Publ., 2013. 280 p. (Ukr)
4. Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Omarov D.M. Pidvyshennia yakosti obslugovuvannia pasazhyriv v m. Kryvyi Rig [Improving the quality of passenger service in the city. Krivoy Rog]. Tezisy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Avtobusobuduvannia ta pasazhirski perevezennia v Ukraini [Proc. of the Ukrainian Scientific and Practical Conf. “Avtobusostroeniya and passenger transportation in Ukraine”]. Lvov, 2015, pp. 222–223. (Ukr)



5. Sokulskiy O.E., Gilevska K.Yu., Panchenko D.L. Metodyka vyznachennia intervalu rukhu pasazhyrskogo transportnogo zasobu na marshruti MPTS, z urakhuvanniam pasazhyropotokiv, koefitsiientu zapovnennia salonu ta chasu chekannia pasazhyrom na zupyntsi [Method of determining the range of motion of the passenger transport route MPTS, considering passenger, filling the cabin factor and passenger waiting time at the bus stop]. Zhurnal "Upravlinnia proektamy, sistemnyi analiz i lohistyka" [Magazine "Project management, systems analysis and logistics"]. Kyiv, NTU Publ., issue 14, 2014, pp. 223–232. (Ukr)
6. Lashenykh O.A., Kuzkin O.F. Metody i modeli optymizatsii transportnykh protsesiv s system [Methods and models of optimization of transport processes and systems]. Zaporozhye, ZNTU Publ., 2006. 435 p. (Ukr)
7. Prokudin G.S., Dekhtiaruk M.T. Imitatsiine modeliuvannia u transportnykh systemakh [Simulation modeling in transport systems]. Zhurnal "Visnyk Natsionalnogo trnsportnogo universitetu" [Magazine "Bulletin of the national transport University"]. Kyiv, NTU Publ., issue 9. 2004. pp. 181–189. (Ukr)
8. Omarov D.M., Prokudin G.S., Prokudin O.G. Udoskonalennia organizatsii perevezen pasazhyriv u velykykh mistakh [Improvement of organization of transportation of passengers in major cities]. Zhurnal "Upravlinnia proektamy, sistemnyi analiz i lohistyka" [Magazine "Project management, systems analysis and logistics"]. Kyiv, NTU Publ., issue 16. part 2. 2015. pp. 125–135. (Ukr)
9. Omarov D.M., Prokudin G.S., Prokudin O.G. Pidvyshennia produktyvnosti ta iakosti avtobusnykh pasazhirs'kykh perevezen v mistsiakh-konglomeratsiiakh [Improve the performance and quality of bus passenger transport in places-konglomeraciâh]. Zhurnal "Visnyk Natsionalnogo trnsportnogo universitetu" [Magazine "Bulletin of the national transport University"]. Kyiv, NTU Publ., issue 1(34). 2016. pp. 378–387. (Ukr)

#### РЕФЕРАТ

Омаров Д.М. Приклад моделювання роботи міських автобусів на маршруті / Д.М. Омаров // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 4.

В статті розв'язується задача визначення оптимальної кількості резервних автобусів. Задача резервування автобусів у загальному випадку може бути описана в термінах теорії надійності і теорії масового обслуговування: сходження автобуса з лінії еквівалентне відмові елемента системи; автобус, який очікує виходу на маршрут для підміни автобуса, що зійшов з лінії, знаходиться у ненавантаженому резерві (резервний елемент або його стан, при якому імовірність відмови цього елемента до його використання дорівнює нулю); послідовно виникаючі недовипуски і сходження автобусів з лінії утворюють потік вимог на заміну і т. ін.

Об'єкт дослідження – процес організації автобусних пасажирських перевезень в міських.

Мета роботи – розробка нових наукових підходів та практичних методів підвищення якості експлуатації автобусів у міських за рахунок визначення оптимальної кількості резервних автобусів.

Метод дослідження – статистичний аналіз результатів імітаційного моделювання роботи навантажувально-розвантажувального комплексу.

Імітаційне моделювання даної транспортної системи дає можливість відобразити реальні обставини, що виникають в процесі її функціонування, і вирішити такі задачі:

- урахувати різні перехідні стани системи;
- дослідити характеристики транспортної системи в залежності від кількості резервних автобусів, їх дислокації і т. ін.;
- урахувати контрольний розподіл збоїв у русі автобусів за часом і можливість їх повернення на маршрут із ремонту за поточну добу;
- урахувати зміну кількості резервних і лінійних автобусів в експлуатації в окремі періоди доби у відповідності з пасажиропотоками і т. ін.

Специфічність процесу міських автобусних перевезень полягає у тому, що вони мають яскраво виявлену добову циклічність. В той же час у межах доби або зміни окремі стани процесу (наприклад, сходи) настають нерегулярно, у випадкові моменти часу.

Виходячи з цього, при розробці імітаційної моделі для відображення поведінки системи виділяється зовнішній цикл – доба, і внутрішній цикл – частина доби. Зовнішній цикл побудовано за "принципом  $\Delta t$ ", а внутрішній – за принципом особливих станів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДОБА, ВАКАНСІЇ, ЗАМІЩЕННЯ, ЧЕРГА НА ЗАМІЩЕННЯ, ДИСЦИПЛІНА ЧЕРГИ, ДОВИПУСК, ПОВЕРНЕННЯ НА ЛІНІЮ, ОСОБЛИВІ МОМЕНТИ, ІНТЕРВАЛ СТАЦІОНАРНОГО СТАНУ.

## ABSTRACT

Omarov D.M. Example modeling of city buses route/ D.M.Omarov Information processes, technologies and transport systems. – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

The paper solved the problem of determining the optimal number of reserve buses. The problem reserving buses can generally be described in terms of reliability theory and queuing theory: the ascent of the bus line is equivalent to the rejection element of the system; bus waiting to enter the route for the substitution of the bus went off the line, is unloaded in reserve (contingency item or its condition in which the probability of failure of the element to use is zero); nedovypusky consistently emerging and climbing buses with trace flow requirements to replace and so on. all.

The object of study - the process of road passenger transport in place.

Purpose - to develop new scientific approaches and practices for improving the quality of buses operating in the field by determining the optimum number of reserve buses.

Method study - statistical analysis of the results of simulation modeling of cargo handling complex.

Simulation of the transport system makes it possible to reflect real circumstances that arise in the course of its operation, and to solve the following problems:

- consider various transitional states of the system;
- explore the characteristics of the transport system based on the number of reserve buses, their deployment and so on., etc .;
- consider controlling distribution disruptions in the movement of buses on time and the possibility of returning to the path of repairs for the current day;
- consider changing the amount of the reserve and line buses in operation in certain periods of the day according to passenger traffic, and so on. al.

The specificity of the process of urban bus transport is that they have clearly shown daily recurrence. At the same time within a day or changing status of the individual (eg stairs) come regularly, at random times.

Therefore, the development of simulation models to reflect the behavior of the system stands outer loop - day, and the inner loop – part of the day. The outer loop is built on "the principle  $\Delta t$ ", and internal – on the basis of specific conditions.

KEY WORDS: TIMES, JOBS, SUBSTITUTION, REPLACEMENT QUEUE, DISCIPLINE TURN, DOVYPUSK, RETURN LINE, SPECIAL MOMENTS INTERVAL STEADY STATE.

## РЕФЕРАТ

Омаров Д.М. Пример моделирования работы городских автобусов на маршруте / Д.М. Омаров // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. – К.: НТУ, 2016. – Вып. 4.

В статье решается задача определения оптимального количества резервных автобусов. Задача резервирования автобусов в общем случае может быть описана в терминах теории надежности и теории массового обслуживания: схождение автобуса с линии эквивалентно отказу элемента системы; автобус, который ожидает выхода на маршрут для замены автобуса, сошел с линии, находится в ненагруженном резерве (резервный элемент или его состояние, при котором вероятность отказа этого элемента по его использованию равна нулю); последовательно возникающие nedovypusky и схождение автобусов с линии образуют поток требований на замену и т. д.

Объект исследования - процесс организации автобусных пассажирских перевозок в городах.

Цель работы - разработка новых научных подходов и практических методов повышения качества эксплуатации автобусов в городах за счет определения оптимального количества резервных автобусов.

Метод исследования – статистический анализ результатов имитационного моделирования работы городских автобусов.

Имитационное моделирование данной транспортной системы дает возможность отразить реальные обстоятельства, возникающие в процессе ее функционирования, и решить следующие задачи:

- учесть различные переходные состояния системы;
- исследовать характеристики транспортной системы в зависимости от количества резервных автобусов, их дислокации и т. Д .;
- учесть контрольный распределение сбоев в движении автобусов по времени и возможность их возвращения на маршрут по ремонту за текущие сутки;
- учесть изменение количества резервных и линейных автобусов в эксплуатации в отдельные периоды времени в соответствии с пассажиропотоком и т.д.

Специфичность процесса городских автобусных перевозок заключается в том, что они имеют ярко проявленное суточную цикличность. В то же время в пределах суток или изменения отдельные состояния процесса (например, сходы) наступают нерегулярно, в случайные моменты времени.

Исходя из этого, при разработке имитационной модели для отображения работы системы выделяется внешний цикл - сутки, и внутренний цикл - часть суток. Внешний цикл построен по "принципу  $\Delta t$ ", а внутренний - по принципу особых состояний.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СУТКИ, ВАКАНСИИ, ЗАМЕЩЕНИЕ, ОЧЕРЕДЬ НА ЗАМЕЩЕНИЕ, ДИСЦИПЛИНА ОЧЕРЕДИ, ДОВЫПУСК, ВОЗВРАЩЕНИЕ НА ЛИНИЮ, ОСОБЫЕ МОМЕНТЫ, ИНТЕРВАЛ СТАЦИОНАРНОГО СОСТОЯНИЯ.

**АВТОР:**

Омаров Джанай Магомедович, ПП «ОДИУМ-ПРЕСТИЖ», директор, e-mail: odiumprestig@gmail.com, тел. +385644014808, Україна, 50011, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Світлогорська 87.

**AUTHOR:**

Omarov Dzhanay M., PE «ODIUM-PRESTIGE», Director, e-mail: odiumprestig@gmail.com, tel. +385644014808, Ukraine, 50011, Dnepropetrovsk region, Krivoy Rog, Svetlogorsk str.87.

**АВТОР:**

Омаров Джанай Магомедович, ЧП «ОДИУМ-ПРЕСТИЖ», директор, e-mail: odiumprestig@gmail.com, тел. +385644014808, Украина, 50011, Днепропетровская обл., г. Кривой Рог, ул. Светлогорска 87.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Гавриленко В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій, Київ, Україна.

Стасюк О.І., доктор технічних наук, професор, Державний економіко-технологічний університет транспорту, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту, Київ, Україна.

**REVIEWERS:**

Gavrylenko V.V, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Transport University, head of information systems and technologies, Kyiv, Ukraine.

Stasiuk O.I, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Economy and Technology University of Transport, head of Automation and Computer Integrated Technologies of Transport, Kyiv, Ukraine.

## НЕЧІТКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Гамеляк І. П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Коц І. В., кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

Бауман К.В., кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

## FUZZY MATHEMATICAL MODEL ASSESSMENT PROCESS PREPARATION OF BITUMEN EMULSIONS

Gameliak I., D. Sc., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Kots I., Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Bauman K., Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

## НЕЧЕТКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Гамеляк И.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Коц И.В., кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина

Бауман К.В., кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, Винница, Украина

**Постановка проблеми.** В лабораторії гідродинаміки Вінницького національного технічного університету була розроблена установка для приготування бітумних емульсій, в основу роботи якої покладено застосування нетрадиційного методу емульгування – диспергування часток бітуму при створенні в потоці механічної суміші складових компонентів бітумної емульсії вимушеної регульованої гідродинамічної кавітації [1, 2].

Виготовлення бітумних емульсій передбачає диспергування бітуму із послідуною стабілізацією рівномірно розподілених частинок бітуму у воді. Основною вимогою до технологічного процесу приготування емульсій є отримання бітумної емульсії необхідної якості, для прогнозування якої доцільно встановити певні закономірності проектування технологічного обладнання та обґрунтування технологічних регламентів.

Традиційно для моделювання різноманітних технологічних процесів при проведенні наукових досліджень застосовують метод планування експерименту. Але при цьому обов'язковим є проведення експериментальних досліджень, що передбачає наявність експериментальної установки та контрольно-вимірювальних пристроїв. На етапі проектування експериментальної установки, як джерело інформації щодо взаємодії вхідних і вихідних параметрів, які впливають на якість готової продукції, можуть застосовуватися експертні оцінки [3].

**Аналіз останніх досліджень.** Виготовлення бітумної емульсії – це складний технологічний процес. Якість отриманої продукції залежить від багатьох факторів, які визначаються властивостями використовуваної сировини, хімічними та гідродинамічними параметрами і характеристиками технологічного процесу, особливостями конструктивного виконання установок тощо. Аналіз проведених попередніх досліджень дозволив виділити базові фактори, що впливають на якість отриманої емульсії, класифікація яких наведена на рис. 1.

Основними складовими компонентами бітумної емульсії є бітум, вода та поверхнево-активні речовини ПАВ [2, 6, 7]. Визначальними властивостями цих компонентів є:

- якість бітуму, яка характеризується такими умовними показниками: умовна в'язкість, дуктильність, температури розм'якшення і крихкості, адгезія, стабільність властивостей у часі після прогрівання тощо (значення показників повинне бути в межах зазначених у нормативних документах відповідно до марки бітуму);

- якість води, суттєвим показником якої є її жорсткість, що характеризується присутністю в ній гідрокарбонатів, хлоридів і сульфатів кальцію та магнію, які впливають на хімічні процеси, що відбуваються на стадії приготування емульсії (жорсткість води повинна бути не більшою 6 мг екв/л [4, 6]);

- якість ПАР – емульгатора, найбільш суттєвими параметрами якого можна виділити число гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ), що повинно відповідати типу емульсії (для стійкої емульсії типу В/М ГЛБ – 3-6, для М/В – 8-13. ГЛБ емульгатора [4, 6]) та водневий показник водного розчину емульгатора, який характеризує нестачу або надлишок кислоти (лугу) в емульсії, що істотно впливає на стабілізацію готової емульсії на виході з вузла емульгування. Водні розчини аніонних емульгаторів мають бути лужними (рН в межах 9-12). Розчин катіонного емульгатора повинен мати рН в межах 1,8–2,2 [7].

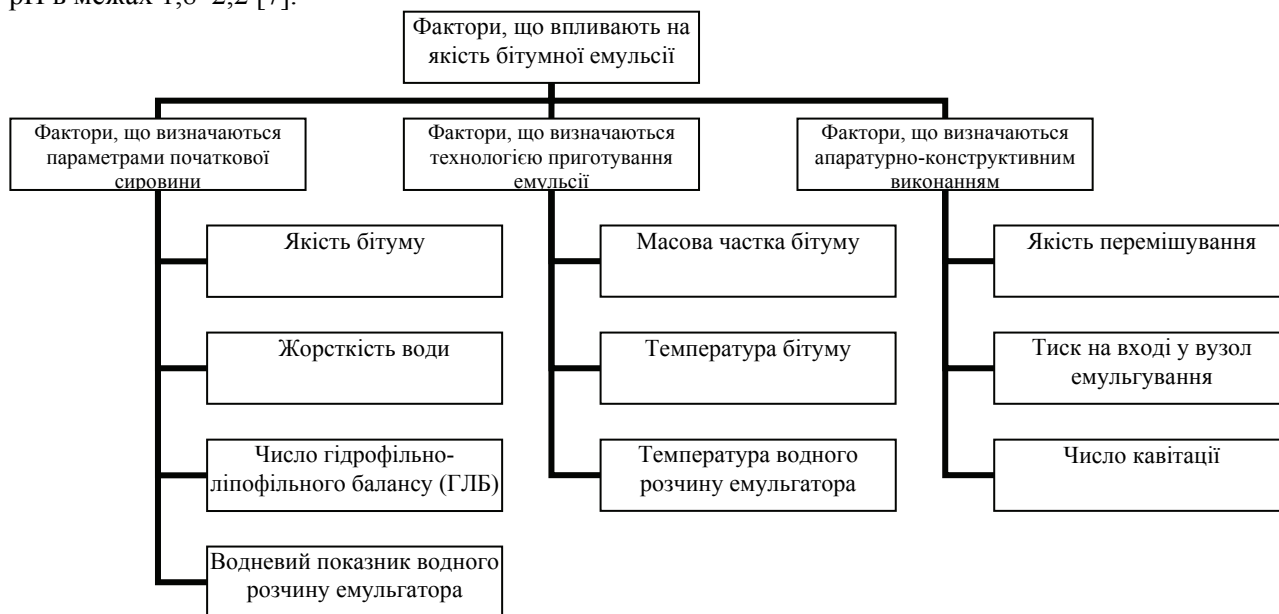


Рисунок 1 — Фактори, що впливають на якість бітумної емульсії

Суттєвими технологічними факторами є:

- частка бітуму в емульсії (для отримання прямої бітумної емульсії частка бітуму має бути в межах 30–70% [6, 7]);

- температура бітуму на вході у вузол емульгування залежить від марки бітуму, зокрема температура бітуму марки БНД 90/130 має бути 120–130 °С;

- температура водного розчину емульгатора залежить від сумарного значення температури бітуму і температури водного розчину емульгатора, якщо це значення вище 200 °С, то відбуватиметься спінування та викид складових компонентів ще до вузла емульгування [2].

Оскільки приготування бітумної емульсії передбачається в установці, принцип роботи якої полягає у створенні в потоці механічної суміші складових компонентів емульсії вимушеної регульованої гідродинамічної кавітації [1, 2], то до апаратних факторів можна віднести:

- якість перемішування, характеризує рівномірність розподілення складових компонентів бітумної емульсії після приготування грубої механічної суміші за допомогою статичного змішувача, що встановлюється перед кавітаційним диспергатором;

- тиск суміші на вході в кавітаційний диспергатор, що є одним з ключових параметрів, що впливають на інтенсивність кавітаційної обробки.

- число кавітацій – один з найважливіших факторів, що характеризує режим кавітації у диспергаторі. Як найбільш раціональний при якісному диспергуванні бітуму необхідно відмітити суперкавітаційний режим [2, 5].

Окрім вище наведених основних факторів, що впливають на технологічний процес приготування бітумної емульсії, для покращення прогнозування якості отриманої продукції можна додатково вводити і інші фактори.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо ієрархічно взаємозв'язок факторів, що впливають на якість емульсії. Структура моделі дерева логічного висновку відповідає співвідношенням [3, 10]:

$$Q = f_Q(X, Y, Z); \quad (1)$$

$$X = f_X(x_1, x_2, x_3, x_4); \quad (2)$$

$$Y = f_Y(y_1, y_2, y_3); \quad (3)$$

$$Z = f_Z(z_1, z_2, z_3). \quad (4)$$

Ієрархічна сукупність співвідношень відповідає дереву висновку, що наведено на рис. 2. У вузлах дерева позначені номери формул, що відповідають різним рівням опису.

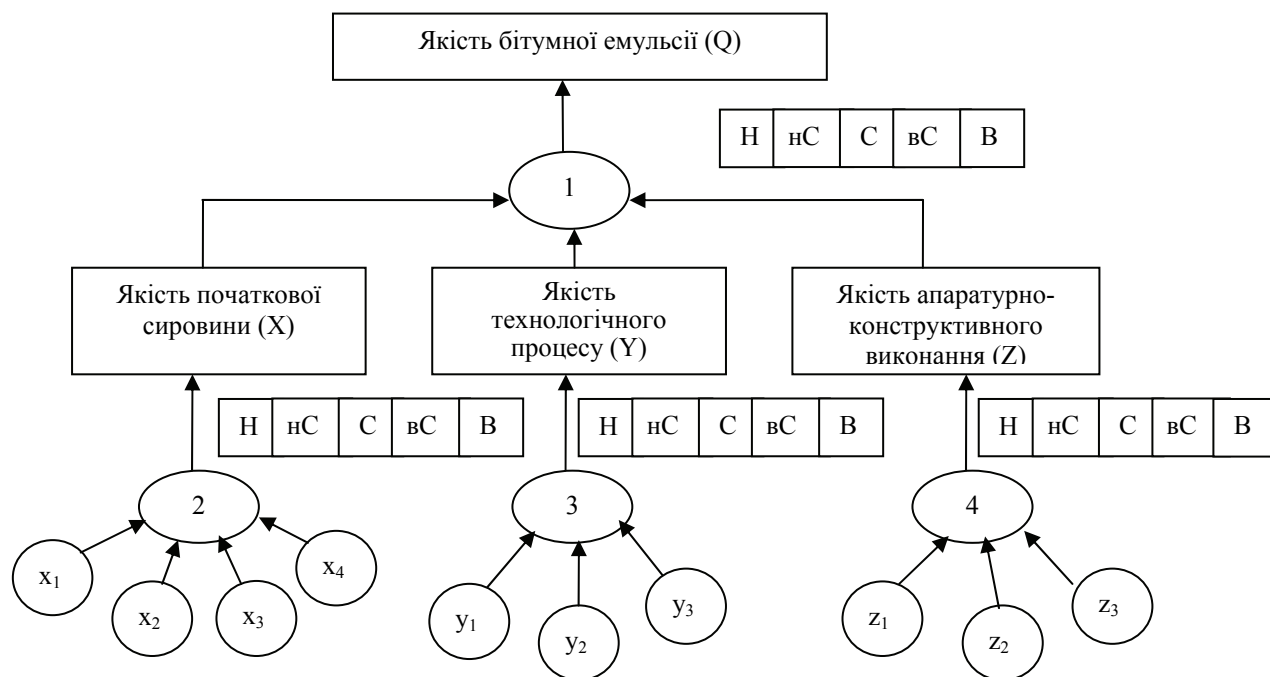


Рисунок 2 — Дерево логічного висновку

Термінальні вершини дерева висновку являють собою лінгвістичні змінні, для яких універсальні множини й оціночні терми представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори впливу як лінгвістичні змінні

| Позначення та назва змінної                      | Універсальна множина | Лінгвістичні змінні                                                                   |
|--------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                | 2                    | 3                                                                                     |
| $x_1$ – якість бітуму                            | [0, 1] у.о.          | відповідає (в), не відповідає (н)                                                     |
| $x_2$ – число гідрофільно-ліпофільного балансу   | [1, 40]              | низьке (н), достатнє (д), високе (в)                                                  |
| $x_3$ – жорсткість води                          | [1,5,10] мг.екв/л    | м'яка (м), середня (с), жорстка (ж)                                                   |
| $x_4$ – водневий показник                        | [0,14] рН            | кисле (к), нейтральне (н), лужне (л)                                                  |
| $y_1$ – масова частка бітуму                     | [30, 80] %           | низька (н), достатня (д), висока (в)                                                  |
| $y_2$ – температура бітуму                       | [90, 140] °С         | низька (н), середня (с), висока (в)                                                   |
| $y_3$ – температура водного розчину емульгатора  | [60, 90] °С          | низька (н), середня (с), висока (в)                                                   |
| $z_1$ – якість перемішування                     | [0, 3] у.о.          | без перемішування (бпр), мінімальне (мін), нормальне (норм), інтенсивне (інт)         |
| $z_2$ – тиск на вході в кавітаційний диспергатор | [0,5, 1,5] МПа       | низький (н), достатній (д), високий (в)                                               |
| $z_3$ – число кавітації                          | [0, 2]               | докавітаційний (д), кавітаційний (к), плівкова кавітація (пл), суперкавітаційний (ск) |

Укрупнені параметри стану лінгвістичних змінних наведені в таблиці 2. Для оцінки лінгвістичних змінних використовували знання технологічних вимог приготування бітумних емульсій, дані експериментальних досліджень та експертні оцінки. База знань про співвідношення (1) – (4) наведена в таблиці 3.

Таблиця 2 – Формалізація укрупнених параметрів стану лінгвістичними змінними

| Укрупнений параметр стану                              | Терми для лінгвістичної оцінки                                                   |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Q – якість бітумної емульсії                           | низька (Н), нижча середньої (нС), середня (С), вища середньої (вС), висока (В)   |
| X – якість сировини для приготування бітумних емульсій | низька (Н), нижче середнього (нС), середня (С), вище середнього (вС), висока (В) |
| Y – якість технологічного процесу                      | низька (Н), нижча середньої (нС), середня (С), вища середньої (вС), висока (В)   |
| Z – якість апаратурно-конструктивного виконання        | низька (Н), нижча середньої (нС), середня (С), вища середньої (вС), висока (В)   |

Таблиця 3 – База знань про співвідношення (1) – (4)

| X  | Y  | Z  | Q |  | X  | Y  | Z  | Q  |
|----|----|----|---|--|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4 |  | 1  | 2  | 3  | 4  |
| В  | В  | Н  | Н |  | Н  | нС | С  | нС |
| В  | вС | Н  |   |  | Н  | В  | вС |    |
| В  | С  | Н  |   |  | нС | нС | вС |    |
| В  | нС | Н  |   |  | С  | Н  | вС |    |
| Н  | Н  | Н  |   |  | С  | В  | нС |    |
| Н  | Н  | В  |   |  | вС | вС | нС |    |
| Н  | вС | Н  |   |  | Н  | нС | вС |    |
| Н  | В  | Н  |   |  | Н  | В  | В  |    |
| нС | Н  | С  |   |  | нС | С  | нС |    |
| нС | В  | Н  |   |  | С  | Н  | В  |    |
| С  | нС | Н  |   |  | вС | Н  | вС |    |
| С  | В  | Н  |   |  | вС | В  | нС |    |
| вС | нС | Н  |   |  | Н  | нС | В  |    |
| Н  | Н  | нС |   |  | нС | Н  | вС |    |
| Н  | нС | Н  |   |  | нС | вС | нС |    |
| Н  | вС | нС |   |  | С  | нС | нС |    |
| Н  | В  | нС |   |  | вС | Н  | В  |    |
| нС | нС | Н  |   |  | В  | Н  | С  |    |
| С  | Н  | Н  |   |  | Н  | С  | С  |    |
| С  | С  | Н  |   |  | нС | Н  | В  |    |
| вС | Н  | Н  |   |  | нС | В  | нС |    |
| вС | нС | нС |   |  | С  | нС | С  |    |
| вС | В  | Н  |   |  | вС | нС | С  |    |
| Н  | Н  | С  |   |  | В  | Н  | вС |    |
| Н  | С  | Н  |   |  | Н  | С  | вС |    |
| Н  | вС | С  |   |  | нС | нС | нС |    |
| нС | Н  | Н  |   |  | нС | В  | С  |    |
| нС | С  | Н  |   |  | С  | С  | С  |    |
| С  | Н  | нС |   |  | вС | нС | вС |    |
| С  | С  | нС |   |  | В  | нС | нС |    |
| вС | Н  | нС |   |  | Н  | вС | В  |    |
| вС | С  | Н  |   |  | нС | нС | С  |    |
| В  | Н  | Н  |   |  | нС | В  | вС |    |
| Н  | Н  | вС |   |  | С  | вС | нС |    |
| Н  | С  | нС |   |  | вС | С  | нС |    |
| нС | вС | вС |   |  | В  | В  | В  | В  |
| нС | Н  | нС |   |  | В  | В  | вС |    |
| С  | Н  | С  |   |  | вС | В  | В  |    |
| С  | вС | Н  |   |  | В  | С  | В  |    |
| вС | Н  | С  |   |  | В  | вС | В  |    |
| вС | вС | Н  |   |  |    |    |    |    |
| В  | Н  | нС |   |  |    |    |    |    |

Продовження таблиці 3.

| X  | Y  | Z  | Q |  | X  | Y  | Z  | Q  |
|----|----|----|---|--|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4 |  | 1  | 2  | 3  | 4  |
| H  | C  | B  | C |  | hC | BC | B  | BC |
| C  | hC | BC |   |  | BC | C  | BC |    |
| BC | B  | C  |   |  | B  | C  | BC |    |
| hC | hC | B  |   |  | C  | C  | B  |    |
| C  | hC | B  |   |  | BC | C  | B  |    |
| B  | H  | B  |   |  | B  | BC | C  |    |
| hC | C  | C  |   |  | C  | BC | BC |    |
| C  | C  | BC |   |  | BC | BC | BC |    |
| B  | hC | C  |   |  | B  | B  | C  |    |
| hC | C  | BC |   |  | C  | BC | B  |    |
| C  | BC | C  |   |  | BC | BC | B  |    |
| B  | hC | BC |   |  | C  | B  | BC |    |
| hC | C  | B  |   |  | BC | B  | BC |    |
| C  | B  | C  |   |  | C  | B  | B  |    |
| B  | C  | hC |   |  | B  | hC | B  |    |
| hC | BC | C  |   |  |    |    |    |    |
| BC | hC | B  |   |  |    |    |    |    |
| B  | C  | C  |   |  |    |    |    |    |
| hC | BC | B  |   |  |    |    |    |    |
| BC | C  | C  |   |  |    |    |    |    |
| B  | hC | BC |   |  |    |    |    |    |
| hC | B  | B  |   |  |    |    |    |    |
| BC | BC | C  |   |  |    |    |    |    |
| B  | B  | hC |   |  |    |    |    |    |

Математичною моделлю технологічного процесу приготування бітумної емульсії є система нечітких логічних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \mu^H(Q) = & [\mu^B(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^B(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^B(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^B(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^B(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^C(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^B(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^C(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^C(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^B(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^C(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^H(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^C(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^C(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^C(Z)] \vee [\mu^{BC}(X) \cdot \mu^{BC}(Y) \cdot \mu^H(Z)] \vee \\
 & \vee [\mu^B(X) \cdot \mu^H(Y) \cdot \mu^{BC}(Z)].
 \end{aligned}$$

Математичну оцінку технологічного процесу приготування бітумної емульсії на запропонованому устаткуванні, що здійснює кавітаційне диспергування компонентів емульсії, було виконано з використанням програмного забезпечення Matlab 7.7.0.471 (R2008b), надбудова Fuzzy logic [11]. У результаті були отримані графічні поверхні вихідних змінних від укрупнених параметрів стану (рис. 3 – 5).

У подальшому для більш точного налаштування моделі передбачається використовувати апарат генетичних алгоритмів, який забезпечує результат залежно від вибірки.



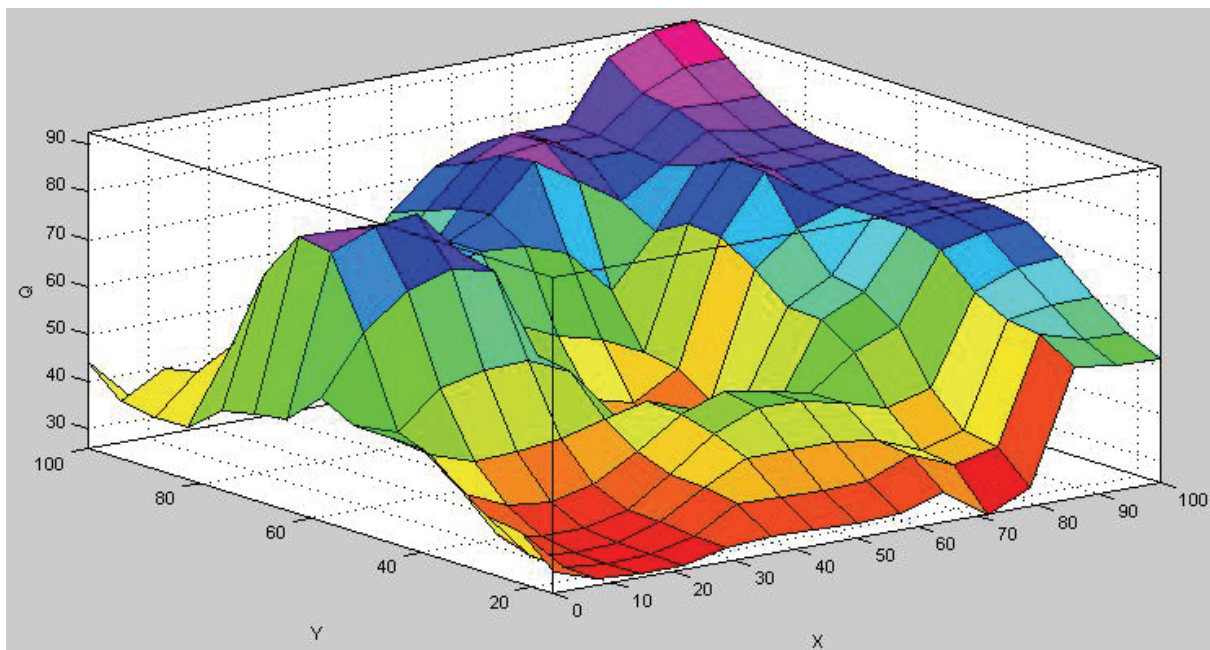


Рисунок 3 — Залежність якості бітумної емульсії від якості вхідної сировини та якості технологічного процесу

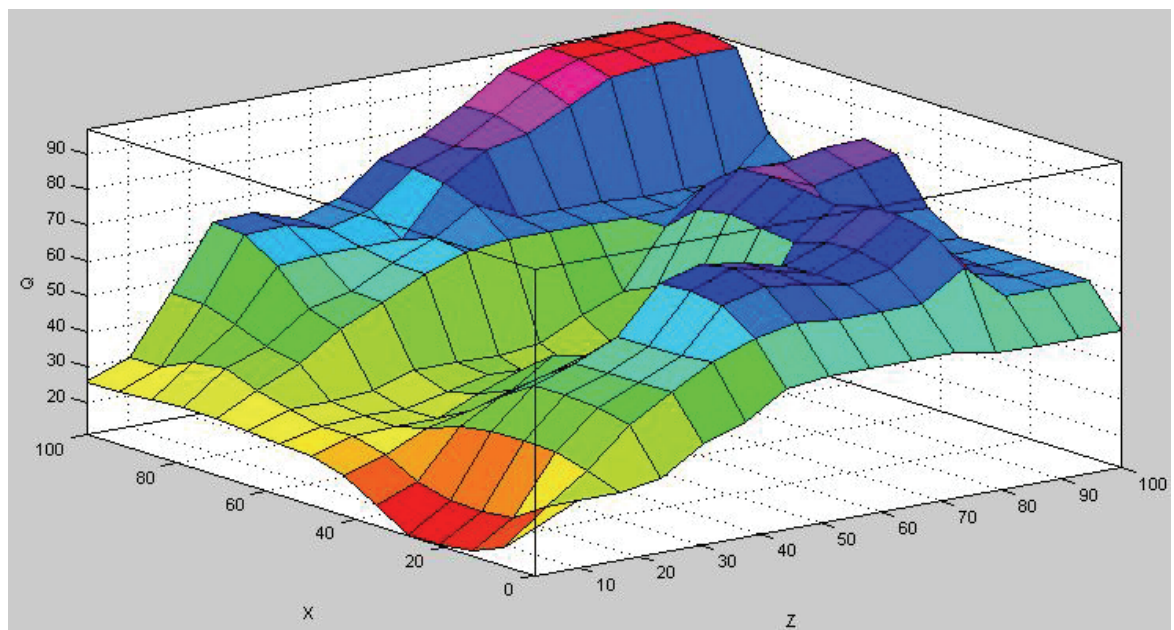


Рисунок 4 — Залежність якості бітумної емульсії від якості технологічного процесу та апаратурно-конструктивного виконання обладнання

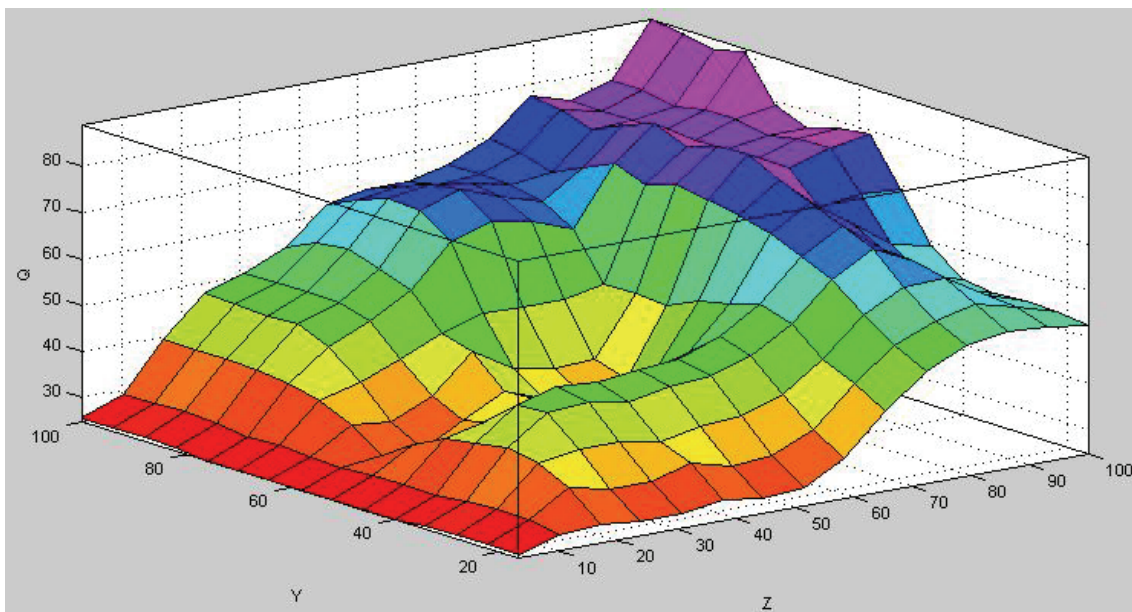


Рисунок 5 — Залежність якості бітумної емульсії від якості сировини та апаратурно-конструктивного виконання обладнання

**Висновки.** На основі методу нечіткої логіки встановлено математичну залежність впливу основних вхідних показників, таких як: якість вхідної сировини, технологічного процесу та апаратурно-конструктивного виконання обладнання на результуючу якість готової продукції. Використовуючи програмне забезпечення Matlab 7.7.0.471 (R2008b), а саме надбудову Fuzzy logic встановлені аналітичні та графічні залежності між вхідними та вихідним параметрами. Запропоновану методику визначення якості вихідної продукції можна рекомендувати для використання на промислових підприємствах з виробництва бітумної емульсії. Слід зауважити, що застосування цієї методики полегшує прогнозування майбутньої якості отримуваної продукції на підставі наявних параметрів і характеристик сировини, обладнання та режимів кавітаційної обробки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 37338 Україна, МПК8 E01C 19/00 Установка для приготовления битумных эмульсий / А. А. Борисенко, К. В. Бауман, І. В. Коц, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200807653 ; заявл. 04.06.08 ; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22.
2. Бауман К. В. Кавітаційна технологія виготовлення бітумних емульсій: монографія / К. В. Бауман, І. В. Коц. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
3. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.
4. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1975. – 512 с.
5. Федоткин И. М. Использование кавитации в технологических процессах / И. М. Федоткин, А. Ф. Немчин – Киев, Вища школа, 1984. – 68 с.
6. Будник В. А. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения / В. А. Будник, Н. Г. Евдокимова, Б. С. Жирнов // Нефтегазовое дело. – 2006. – Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>.
7. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) – [Утверждено приказом Союздорнии от 25.03.87 № 51] – М. : Стройиздат, 1989. – 32 с.
8. Промтов М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // Вестник ТГТУ – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869. – Режим доступа до журн.: [http://vestnik.tstu.ru/rus/t\\_14/pdf/14\\_4\\_011.pdf](http://vestnik.tstu.ru/rus/t_14/pdf/14_4_011.pdf).
9. Рождественский В. В. Кавитация / В. В. Рождественский – Ленинград : Судостроение, 1977. – 248 с.
10. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ - Вінниця, 1999. – 320 с.
11. Дашенко О. Ф. MATLAB в инженерных та наукових розрахунках / О. Ф. Дашенко, В. Х. Кирилов, Л. В. Коломієць, В. Ф. Оробей / Монографія. – Одеса : Астропринт, 2003. – 214 с.

## REFERENCES

1. Pat. 37338 Ukraine, MPK8 E01C 19/00 Installation for preparing bitumen emulsions / A. Borisenko, K. Bauman, I. Kotz, Patent owner NTB. - № u200807653; appl. 04.06.08; publ. 25.11.08, Bull. Number 22.
2. Bauman KV Cavitational technology manufacturing bitumen emulsions: Monograph / K. Bauman, I. Kotz. - Ball: NTB, 2013. - 128 p.
3. Zadeh L.A. The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions / L.A. Zadeh. - M.: Mir, 1976. - 167 p.
4. Voyutsky S.S. Course colloid chemistry / Voyutskii - 2 nd ed., Revised. and ext. - M.: Chemistry, 1975. - 512 p.
5. Fedotkin I.M. Use cavitation in technological processes / I.M. Fedotkin AF Nemchin - K., Visha School, 1984. - 68 p.
6. Budnik V.A. Bitumen emulsion. Features composition and application / V.A. Budnik, N. Evdokimov, B.S. Jirnov // Oil and gas business. - 2006 - Mode of access: <http://www.ogbus.ru>.
7. Benefit for the preparation and application of road bitumen emulsions (to the SNIP 3.06.03-85) - [Soyuzdornii Approved by Order of 25/03/87 number 51] - M.: Stroyizdat, 1989. - 32 p.
8. Promtov MA Prospects of application of cavitation technologies for intensification of chemical-engineering processes / MA Promtov // Herald TSTU - 2008. - T. 14, number 4. - S. 861-869. - Access mode to Zh.: [http://vestnik.tstu.ru/rus/t\\_14/pdf/14\\_4\\_011.pdf](http://vestnik.tstu.ru/rus/t_14/pdf/14_4_011.pdf).
9. Rozhdestvensky V.V, Cavitation. - Leningrad: Shipbuilding, 1977. - 248 p.
10. Rothstein A.P. Intelligent identification technology: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks / AP Rothstein. - Vinnitsa: UNIVERSUM - Vinnitsa, 1999. - 320 p.
11. Dashchenko OF MATLAB in engineering and scientific calculations / O.F.Daschenko, WH Kirillov, LV Kolomiets VF Orobey / Monograph. - Odessa: Astroprint, 2003. - 214 p.

## РЕФЕРАТ

Гамеляк І. П. Нечітка математична модель оцінки технологічного процесу приготування бітумних емульсій / І. П. Гамеляк, І. В. Коц, К. В. Бауман // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті – К.: НТУ – 2016. Вип. 4.

У статті розроблена математична модель прогнозування якості бітумної емульсії із використанням методів нечіткої логіки при її отриманні на запропонованій кавітаційній установці для приготування бітумних емульсій.

Об'єкт дослідження – процес приготування бітумних емульсій кавітаційним методом.

Мета роботи – розробка математичної моделі прогнозування якості бітумної емульсії із використанням методів нечіткої логіки при її отриманні на запропонованій кавітаційній установці для приготування бітумних емульсій.

Метод дослідження – використання методу нечіткої логіки для встановлення математичної залежності впливу основних вхідних показників, таких як: якість вхідної сировини, технологічного процесу та апаратурно-конструктивного виконання обладнання на результуючу якість готової продукції.

Результати дослідження можуть бути впроваджені в дорожньому будівництві для удосконалення технології виготовлення та підвищення якості дорожніх бітумних емульсій.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта досліджень - створення оптимальної технології приготування бітумних емульсій кавітаційним способом.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БІТУМНА ЕМУЛЬСІЯ, КАВІТАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, НЕЧІТКА ЛОГІКА ДИСПЕРСНІСТЬ, ЧИСЛО КАВІТАЦІЙ

## ABSTRACT

Gameliak I. Fuzzy mathematical model evaluation process of preparation of bitumen emulsions / I. Gameliak, I. Kots, K. Bauman // Information process, technologies and systems on transport – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

In the article developed the mathematical model for forecasting the bitumen emulsion quality using methods of fuzzy logic is developed. Bitumen emulsion getting on the cavitation emulsified bitumen plant which is offered.

The object of study - the process of preparation of bitumen emulsions by cavitation method.

Purpose of the study - to develop a mathematical model predicting the quality of bitumen emulsions using fuzzy logic methods when it received on the proposed installation of cavitation for the preparation bitumen emulsions.

Research method - the use of fuzzy logic method to determine mathematical relationships influence the basic input parameters such as: the quality of incoming raw materials, manufacturing process and a design hardware and equipment on the resulting quality of the finished product.

The research results can be introduced in road construction to improve production technology and improve the quality of road bitumen emulsions.

Projected assumptions about the development of the research object - creating an optimal technology of preparation of bitumen emulsions cavitation process.

KEYWORD: A EMULSIFIED BITUMEN, CAVITATION, A MATHEMATICAL MODEL, FUZZY LOGIC, DISPERSION, A CAVITES NUMBER.

#### РЕФЕРАТ

Гамеляк И.П., Нечеткая математическая модель оценки технологического процесса приготовления битумных эмульсий / И. П. Гамеляк, И. В. Коц, К. В. Бауман // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте К.: НТУ – 2016. Вып. 4.

В статье разработана математическая модель прогнозирования качества битумной эмульсии с использованием методов нечетких множеств при ее полученные на предложенной кавитационной установке для приготовления битумных эмульсий.

Объект исследования - процесс приготовления битумных эмульсий кавитационным методом. Цель работы - разработка математической модели прогнозирования качества битумной эмульсии с использованием методов нечеткой логики при ее полученные на предложенной кавитационной установке для приготовления битумных эмульсий.

Метод исследования - использование метода нечеткой логики для установления математической зависимости влияния основных входных показателей, таких как: качество исходного сырья, технологического процесса и аппаратурно-конструктивного исполнения оборудования на результирующую качество готовой продукции.

Результаты исследований могут быть внедрены в дорожном строительстве для совершенствования технологии изготовления и повышения качества дорожных битумных эмульсий.

Прогнозируемые предположения относительно развития объекта исследований - создание оптимальной технологии приготовления битумных эмульсий кавитационным способом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БИТУМНАЯ ЭМУЛЬСИЯ, КАВИТАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА, ДИСПЕРСНОСТЬ, ЧИСЛО КАВИТАЦИИ

#### АВТОРИ:

Гамеляк Ігор Павлович, д.т.н., професор, проф. кафедри Аеропорти Національного транспортного університету, м. Київ, вул. Суворова – 1. E-mail: gir65@mail.ru .Тел.: (044) 280-70-73 (роб.), 045-97-57-831 (дом.), 050-352-41-24 (моб.).

Коц Іван Васильович, кандидат технічних наук, доцент, проф. кафедри теплогазопостачання Вінницького Національного технічного університету, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. E-mail: kots.ivan@i.ua . Тел. (0432) 59-81-70 (роб.), (0432) 67-28-73 (дом.), 067-266-99-81 (моб.).

Бауман К.В, кандидат технічних наук, асистент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. E-mail: katerina-bauman@i.ua. Тел. (0432) 26-59-83 дом., 098-394-01-81 моб.

#### АВТОРЫ:

Гамеляк Игорь Павлович, доктор технических наук, профессор, проф. кафедры Аэропорты Национального транспортного университета, г. Киев, ул. Суворова – 1. E-mail: gir65@mail.ru .Тел.: (044) 280-70-73 (раб.), 050-352-41-24 (моб.).

Коц Иван Васильевич, кандидат технических наук, профессор, проф. кафедры теплогазоснабжения Винницкого Национального технического университета, 21021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95 . E-mail: kots.ivan@i.ua . Тел. (0432) 59-81-70 (раб.), (0432) 67-28-73 (дом.), 067-266-99-81 (моб.).

Бадёра Наталья Петровна, кандидат технических наук, асистент кафедры теплогазоснабжения Винницкого Национального технического университета, 21021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 95. E-mail: katerina-bauman@i.ua. Тел.: (0432) 26-59-83 (дом.), 098-394-01-81 (моб.).

#### AUTHORS:

Gameliak Igor P., Doctor of Technical Sciences, professor, professor Department of Airports of the National Transport University, Kyiv, 1, Suvorov street. E-mail: gip65@mail.ru. Tel.: (044)280-70-73 (make.), 050-352-41-24 (mob.).

Kots Ivan V., Ph.D., associate professor, prof. Department of the Institute building, heat and gas. Vinnytsia National Technical University, 21021, Vinnytsia, 95, Khmelnytsky Highway. E-mail: kots.ivan@i.ua. Tel: (0432) 598-170 (make.), (0432)672-873 (home.), 067-266-99-81 (mob.).

Bauman Katerina V., assistant, postgraduate Department of the Institute building, heat and gas. Vinnytsia National Technical University, 21021, Vinnytsia, 95, Khmelnytsky Highway. E-mail: katerina-bauman@i.ua. Tel.: 098-394-01-81 (mob.).

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри електроніки та обчислювальної техніки, Київ, Україна.

Снитюк В.Є., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних та інформаційних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Science, Professor of Department of Electronics and Computing Technics in National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Snytyuk V.E., Doctor of Technical Science, professor, head of Department of Intellectual and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.



УДК 625.717.02:528.52 (043.2)  
UDC 625.717.02:528.52 (043.2)

## ВИМІРЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ ШТУЧНИХ ПОКРИТТІВ АЕРОПОРТІВ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Белятинський А.О., д.т.н., Національний авіаційний університет, Київ, Україна  
Васильєв Д.П., аспірант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## MEASURING RELIEF OF THE AIRPORT'S ARTIFICIAL TURF BY POLARIMETRIC METHOD

Bieliatynskiy A.O., Doctor of Technical Science, National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
Vasiliev D.P., postgraduate student, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

## ИЗМЕРЕНИЕ РЕЛЬЕФА ИСКУССТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ АЭРОПОРТОВ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Белятинский А.О., д. т.н., Национальный авиационный университет, Киев, Украина  
Васильев Д.П., аспирант, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Перспективною є розробка методів, що вимірюють мезорельєф всіх типів аеродромного покриття з точністю класичних методів геометричного і тригонометричного нівелювання і швидкодією вимірювань, яку забезпечують супутникові системи. Швидкість вимірювань, тобто автоматизація процесу вимірювань в GPS системах забезпечується тим, що в точці координати якої ми вимірюємо відсутня необхідність фокусування електромагнітного випромінювання, що несе необхідну інформацію. Відпадає необхідність у покрокових вимірах із зупинкою системи, які присутні в точних методах тригонометричного і геометричного вимірювань. Крім того, в точці виміру система вимірює або приймає потрібну інформацію, при цьому відсутні просторові орієнтири (рівні, акселерометри, гіроскопи), які також вимагають значного часу для відновлення режиму роботи. У супутникових методах інформація знімається за допомогою фазових методів вимірювання параметрів електромагнітного випромінювання, а навігаційні прилади не потрібні, тому що в кожен момент часу координати супутників відомі. При вимірах середньоквадратична помилка не перевищувала 1 см., а час вимірювання всієї доріжки 4 □ 5 хвилин. Прилади супутникового позиціонування, що працюють у рухомому режимі, дозволяють виконати вимірювання з дискретом запису в 1 сек. Швидкість руху візка вибиралася таким чином, щоб пікетаж був 0,5 м.

В даний час для вимірювання поздовжнього профілю використовується мікронівелір, в якому використовується електронний акселерометр, що сприймає будь-яке прискорення, в тому числі і гравітаційне. Акселерометр визначає кут нахилу чутливого елемента щодо горизонтального положення. Використовуючи фіксовані, з високою точністю відстані між опорними точками і вимірний кут нахилу в точці виміру, виконуються обчислення і визначається профіль з високою точністю. При проведенні таких вимірів з використанням, наприклад, електронного мікронівеліра Dipstick-2000 були отримані такі результати: на зйомку двох поздовжніх профілів ШЗПС довжиною 2500 м з кроком зйомки 0,5 м витрачається 12-15 год безперервної роботи. За результатами порівняльного аналізу було встановлено, що похибка визначення різниці висот точок, віддалених на відстань до 1 км. при зйомці з кроком 0,5 м. становить не більше 2 мм. При цьому з'являється можливість роботи в темний час доби, тобто в період найменшої інтенсивності польотів, яка практично відсутня при використанні традиційних геодезичних методів.

Однак потреба в геодезичній інформації постійно зростає, пред'являючи нові вимоги як до обсягу та оперативності поновлення геодезичних даних про аеродром. Найбільш важливими на сьогодні є наступні параметри:

- оцінка деформаційних характеристик штучного покриття злітно-посадкової смуги (ЗПС), руліжних доріжок (РД) перону;
- результати нівелювання для оцінки рівності покриття та побудови профілю ЗПС;
- координати і висоти порогів для визначення геометричних характеристик ЗПС, кордонів областей приземлення, істинного і магнітного азимутів.

Наземні вимірювання можна також робити швидко, якщо за аналогією з супутниковими вимірювати не напрявлення розповсюдження електромагнітної хвилі, а азимут площини поляризації електромагнітної хвилі, тобто використовувати поляриметричні методи вимірювань.

В 1949 році був розроблений поляризаційний небесний компас для роботи в денний час у районах, близьким до магнітних полюсів Землі, де магнітні комплекси майже непридатні, немає радіоапаратури для визначення напрямку і неможливо пряме спостереження Сонця, наприклад, в умовах сильної, але не суцільної хмарності або коли Сонце вже знаходиться за горизонтом. Його дія заснована на тому факті, що переважний напрямок коливань світла, розсіяного блакитним небом, перпендикулярний площині, в якій знаходиться Сонце і напрямоку спостереження. Знайшовши напрямок переважних коливань світла і взявши до уваги час дня, можна визначити дійсний напрям руху. У 1953 році Кембелл описав модифікації цього приладу, призначеного для геологів. Точність приладу  $2^\circ$ . У 1940-х роках Фріш виявив, що бджоли відчувають поляризацію променів, і можуть визначати напрямок світлового випромінювання. Таким чином вони «запам'ятовують» шлях до медоносних рослин, навіть якщо Сонце закрито і видно тільки частину блакитного неба. Мурахи, мечехвости, ракоподібні та плодові мушки і т.д. також орієнтуються по поляризації світла.

У цій роботі пропонується новий метод визначення найбільш важливих геодезичних характеристик ВВП, в першу чергу вимірювання поздовжнього і поперечного профілю, відхилення від горизонту і рівністю покриття ЗПС. Метод заснований на вимірюванні кута обертання площини поляризації світлового пучка, так званий ізометричний метод. Сучасні поляризатори використовують парамагнітні кристали, які вимагають великі управляючі потужності, і при цьому кут модуляції площини поляризації невеликий, що не дозволяє зробити малогабаритний, малопотужний прилад, що працює при великих засвіченнях. Тобто використання парамагнетиків не дозволяє створити прилад, що працює в польових умовах.

Перспективними матеріалами для використання в фотополяриметрах є синтезовані для радіотехнічних цілей феримагнетики (Рис.1), які прозорі не тільки в радіо і НВЧ діапазонах, але і в оптичному, зокрема в ближньому ІЧ діапазоні. Поворот площини поляризації в оптично прозорих феритах досягає  $100^\circ$  і більше при керуючих магнітних полях порядку  $100 - 200 \text{ А} \cdot \text{в}/\text{м}$ . При дослідженні цих матеріалів було виявлено ряд переваг: зокрема різке зниження потужності керуючих сигналів і зменшення вимог до яскравості оптичного каналу за рахунок збільшення кута обертання площини поляризації світла.



Рисунок 1 – Синтезовані для радіотехнічних цілей феромагнетики

Коли було виявлено, що феромагнетики прозорі в ІЧ діапазоні і володіють великим поворотом площини поляризації світлового променя, що проходить через нього, при малих керуючих потужностях, була відпрацьована методика використання цих матеріалів для створення фотополяриметра, здатного працювати в польових умовах, блок – схема якого представлена на рис. 2.

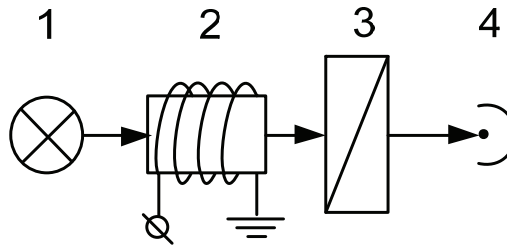


Рисунок 2 – Блок-схема фотополяриметра

1 – джерело плоскополяризованого світла; 2 – модулятор; 3 – аналізатор; 4 – фотоприймач

В даний час найвищі вимоги по точності пред'являються до значень висот порогів ЗПС – до 0,3 м. Забезпечити таку точність можна, використовуючи спільно апаратуру супутникового позиціонування і геодезичного нівелювання. Маючи значення порогів у всіх системах висот, побудова профілю осі ЗПС може бути виконана будь-яким з відомих методів.

За допомогою поляриметричного методу вимірювань у наземній геодезії та інших галузях вирішується задача забезпечення високоточного і одночасно неперервного та швидкого процесу вимірювання.

Вираз для гіромагнітного ефекту Фарадея в оптично прозорих феромагнетиках має вигляд:

$$\varphi = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon}}{c} \gamma M, \quad (1)$$

Для світлового променя що пройшов через фотополяриметр (рис.2.) вектор Стокса дорівнює:

$$(V_e)_{пр} = [P_A] \cdot [P_M] \cdot (V_i) \quad (2)$$

де  $(V_i) = \Phi_0 (1 \quad \cos 2\alpha \quad \sin 2\alpha \quad 0)$  – вектор Стокса падаючого променя;  $\Phi_0$  – енергія світлового потоку на вході системи;  $[P_M]$ ,  $[P_A]$  – відповідно матриці, що описують властивості модулятора та аналізатора.

Забезпечення точності вимірювань досягається завдяки застосуванню поляриметра, а забезпечення швидкості - наявності рухомої основи, на яку встановлено поляризатор і джерело світла. Конструктивно основа може бути виконана у вигляді візка, колеса або іншого рухомого об'єкту.

Загальна схема поляриметричного методу вимірювання рельєфу поверхні (Рис.3) працює наступним чином. Аналізатор, розташований на візку, приймає плоско поляризоване випромінювання. Площина поляризації (напрямок вектора  $\vec{E}$ , електромагнітної компоненти світлового потоку) збігається з площиною платформи, а сам промінь поширюється перпендикулярно площині поляризації. У процесі руху площина платформи і відповідно площина поляризації будуть змінювати свій напрям відповідно до рельєфу покриття. Кут повороту площини поляризації світла (отже, напрямок платформи і напрям дотичний до рельєфу в області розташування рельєфу) вимірюється за межами рухомої системи в стаціонарних умовах, що дозволяє проводити вимірювання з точністю до десятків секунд. Знаючи напрям дотичної до рельєфу, обчислюється і сам рельєф. Таким чином, підвищується точність та швидкодія вимірювань.

Запропонований метод забезпечує значне зменшення витрат часу на проведення вимірювальних робіт, так як він передбачає майже повну їх автоматизацію. Метод також забезпечує винесення обробки результатів вимірювання за межі області вимірювань, що дає змогу проводити вимірювання з високою точністю. Він дозволяє при необхідності проводити експрес-моніторинг місцевості, рельєф якої постійно змінюється, наприклад, злітно-посадкової смуги на аеродромі.

Робота блок-схеми поляриметричного вимірювача рельєфу ЗПС (Рис.4.), який реалізує запропонований метод, полягає в наступному. Реєструючи зміну кутів падіння променів а, отже, і положення аналізатора в просторі визначаємо кути нахилу візка, які відповідно рівні кутам нахилу рельєфу і відповідають нерівностям пройденого шляху. Реєструючи значення цих кутів отримаємо відповідні значення перепаду напруги на виході фоточутливих елементів, тобто здійснюємо переведення кутів нахилу системи в перепади напруги. Здійснення синхронної передачі значення напруг із трьох аналізаторів і значення пройденого шляху за допомогою радіо передатчика (або зберігаючи дані на флеш пам'ять), встановленого на візку, дозволяє забезпечити прив'язку вимірювань



кути до відповідних координат. Після закінчення процесу вимірювання проводиться аналіз та моделювання виміряного рельєфу за допомогою комп'ютерної техніки. На основі обробки даних визначаються значення параметрів, які характеризують рельєф.

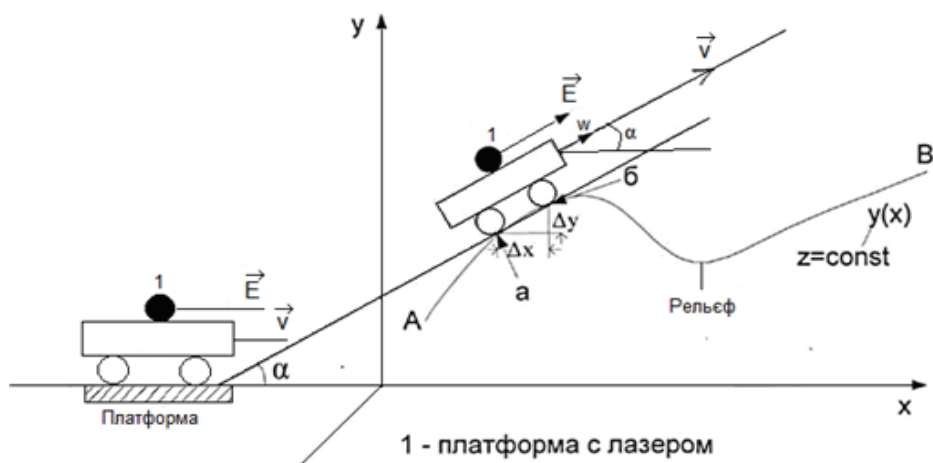


Рисунок 3 – Загальна схема поляриметричного методу вимірювання рельєфу поверхні

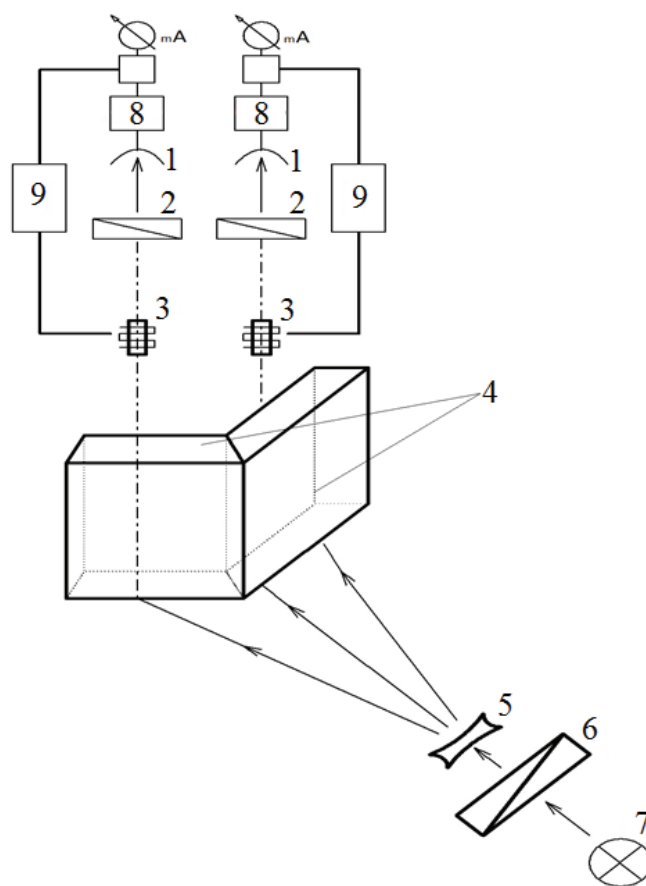


Рисунок 4 – Блок-схема поляриметричного вимірювача рельєфу.

1 – світлоприймач, 2 – аналізатор, 3 – модулятор, 4 – кварцева пластина, 5 – розсіювальна лінза, 6 – поляризатор, 7 –джерело випромінювання, 8 – підсилювач, 9 – генератор.

**Висновок.** У роботі розглянуті існуючі пристрої для вимірювання рельєфу штучних покриттів аеропортів та запропоновано поляриметричний метод і поляриметричний вимірювач рельєфу поверхні. Використання запропонованого методу дозволить потенційно підвищити точність та швидкодію вимірювань рельєфу штучних покриттів аеропортів, а також дозволить забезпечити їх повну автоматизацію.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лобазов В.Я., Грошев И.В. Системы координат при геодезическом обеспечении аэродромов. – Ж.: Аэропорты. Прогрессивные технологии, № 2, 2004. – с.22-24.
2. Дерюгин И. А. Фотоэлектрический поляриметр инфракрасного диапазона / И. А. Дерюгин, Ю. А. Кузнецов, В. Д. Тронько // Оптика и спектроскопия. – 1970. – Т. 28. – Вып. 2. – С. 415 – 418.
3. Шерклифф У. Поляризованный свет / У. Шерклифф; пер. с англ. под ред. Н. Д. Жевандрова. – М.: Мир, 1965. – 264 с.
4. Городецкий С.И. Топографо-геодезическая жизнь аэродрома.

## REFERENCES

1. Lobazov V.Ya., Groshev I.V. Sistemyi koordinat pri geodezicheskomo obespechenii aerodromov. – Zh.: Aeroporty. Progressivnyie tehnologii, № 2, 2004. – s.22-24.
2. Deryugin I. A. Fotoelektricheskiy polyarimetr infrakrasnogo diapazona / I. A. Deryugin, Yu. A. Kuznetsov, V. D. Tronko // Optika i spektroskopiya. – 1970. – T. 28. – Vyip. 2. – S. 415 – 418.
3. Sherkliff U. Polyarizovannyiy svet / U. Sherkliff; per. s angl. pod red. N. D. Zhevandrova. – M.: Mir, 1965. – 264 s.
4. Gorodetskiy S.I. Topografo-geodezicheskaya zhizn aerodroma.

## РЕФЕРАТ

Белятинський А.О., Вимірювання рельєфу штучних покриттів аеропортів поляриметричним методом / А.О. Белятинський, Д.П. Васільєв // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 4.

Досліджується метод вимірювання ухилів та рівності поверхні за зміною площини поляризації.

Визначаються шляхи підвищення ефективності моніторингу аеродромного покриття, виявлення його невідповідності вимогам, які виникають під час експлуатації ЗПС.

Досліджуються технічні можливості створення засобів реалізації методу. Наводяться приклади характеристик можливої елементної бази основних світлочутливих вузлів пристрою, для реалізації поляриметричного методу вимірювання.

Наводяться основні характеристики оптичної системи приладу, у котрому може бути реалізовано поляриметричний метод вимірювання. Розглянута схема моделі вимірювань рельєфу штучних покриттів в районі аеродрому.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – підвищення регулярності та інтенсивності експлуатації ЗПС, зменшення кількості авіаційних пригод в районі аеродрому.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВИМІРЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ, МІКРОРЕЛЬЄФ, ФЕРИТИ, ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ФОТОПОЛЯРИМЕТР.

## ABSTRACT

Bieliatynskiy A.O., Measuring relief of the airport's artificial turf by polarimetric method / A.O. Bieliatynskiy, D.P. Vasiliev // Information process, technologies and systems on transport – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

The measurement method of slope and surface roughness by the changes in the polarization plane are investigated.

Ways to improve monitoring of airfield pavement and definition its non-compliance with requirements, which arising in the operation of the runway, are defined.

The technical possibility of establishing the means to implement the method are investigated. Examples of characteristic of the light-sensitive device basic units to implement polarimetric measurement method are listed.

The basic characteristics of the optical system of the instrument, which can be implemented polarimetric measurement method are listed. Scheme of model for artificial turf near the airport are analyzed.

Projected assumptions about the development of the object of study is increasing the regularity and intensity of runway operation, reducing the number of accidents at the aerodrome.

**KEY WORDS:** MEASURING RELIEF, MICRO-RELIEF, FERRITE, POLARIZATION, FOTOPOLYARYMETR.

## РЕФЕРАТ

Белятинський А.А., Измерение рельефа искусственных покрытий аэропортов поляризметрическим методом / А.А., Белятинський, Д.П. Васильев // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - М.: НТУ, 2016. - Вып. 4.

Исследуется метод измерения уклонов и ровности поверхности за изменением плоскости поляризации.

Определяются пути повышения эффективности мониторинга аэродромного покрытия, выявление его несоответствия требованиям, возникающим при эксплуатации ВПП.

Исследуются технические возможности создания средств реализации метода. Приводятся примеры характеристик возможной элементной базы основных светочувствительных узлов устройства, для реализации поляризметрического метода измерения.

Приводятся основные характеристики оптической системы прибора, в котором может быть реализовано Поляризметрический метод измерения. Рассмотренная схема модели измерений рельефа искусственных покрытий в районе аэродрома.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования - повышение регулярности и интенсивности эксплуатации ВПП, уменьшение количества авиационных происшествий в районе аэродрома.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ИЗМЕРЕНИЕ РЕЛЬЕФА, МИКРОРЕЛЬЕФ, ФЕРРИТЫ, ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ФОТОПОЛЯРИМЕТР.

### АВТОРИ:

Белятинський Андрій Олександрович, д. т. н., професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: beljatynskij@mail.ru.

Васильєв Дмитро Петрович, аспірант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: freimaster.af@gmail.com.

### AUTHORS:

Beliatynskiyi Andrei O., Doctor of technical science, professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: beljatynskij@mail.ru.

Vasiliev Dmitry P., postgraduate student, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: freimaster.af@gmail.com.

### АВТОРЫ:

Белятинський Андрей Олександрович, д.т.н., професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: beljatynskij@mail.ru.

Васильєв Дмитрій Петрович, аспірант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: freimaster.af@gmail.com.

### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гамеляк І.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедру міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

### REVIEWERS:

Gameliak I.P., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Prokudin G.S., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the department of international transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.

## БЕЗПЕКА, ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАДІЙНІСТЬ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО СПІЛКУВАННЯ

---

УДК 656.61.052  
UDC 656.61.052

### КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ЛОКАЛЬНО ОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РОБОТИ

Баранов Г.Л., д.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Габрук Р.А., к.т.н., Одеська національна морська академія, Одеса, Україна  
Прохоренко О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Горішна І.Я., Одеська національна морська академія, Одеса, Україна

### COMPLEX ASSESSMENT OF SAFETY DURING DYNAMIC POSITIONING IN LOCALLY CONFINED AREA OF TECHNOLOGICAL WORK

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Gabruk R.A., Ph.D., Odessa National Maritime Academy, Odessa, Ukraine  
Prokhorenko O.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Gorishna I.Y., Odessa National Maritime Academy, Odessa, Ukraine

### КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ЛОКАЛЬНО ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Баранов Г.Л., д.т.н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Габрук Р.А., к.т.н., Одесская национальная морская академия, Одесса, Украина  
Прохоренко А.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Горишная И.Я. Одесская национальная морская академия, Одесса, Украина

**Introduction.** Nowadays there are more and more mobile water transport objects (MWTO), which are equipped with dynamic positioning systems (DPS) to perform different types of technological work in different areas under different conditions. DPS may be defined as a system that automatically controls MWTO to maintain position or desired track and heading exclusively by means of active thrust [1,2]. DPS may set a target position, which can be fixed or a movable. DPS allows MWTO to maneuver safely within the confined areas of technological work. In modern MWTO, the DP system may form part of a MWTO integrated control system, communicating by means of a redundant Local Area Network. Some MWTO types (semi-submersible drilling rigs, derrick barges, etc.) [3,4] may be fitted with six or eight azimuth thrusters. In some MWTO, the rudders are DP active, to provide transverse forces aft, while in other MWTO the rudders are not controlled by the DP system. DP-capable MWTO must have a combination of power, maneuverability, navigational ability and computer control in order to provide reliable positioning ability. This forms an integrated system, which consists of different elements [1-5].

Wide variety of DPS applications in maritime industry represent safety of navigation as a complex problem.

**Problem formulation.** Presently safety of DP operations assessed by group of dynamic positioning operators (DPOs), based on Company Safety Management System (SMS) requirements, Failure Modes & Effects Analyses (FMEA) [2-4].

The following methodology is proposed for guaranteeing safety of navigation during DP operations guided by polyergatic system. Accordingly to the philosophy of proposed methodology, the main control element, which ensure safety of DP operations is a DPO.

**A key material.** High precision navigation processes interfere with environmental factors (EF): wind, current, waves (Fig. 1).

EF produce nonlinear external disturbances, which try to move MWTO outside of the locally confined area. EF represent hazard to safety of DP and associated technological work performance.

During dynamic positioning (DP), MWTO experiences motion in 6 degrees of freedom (DOF). The motion in the horizontal plane referred to as surge and sway. Heading or yaw is a rotation about the vertical

axis z. The remaining three DOFs are roll, pitch and heave (vertical motion). DPS stabilize the surge, sway and yaw motions.

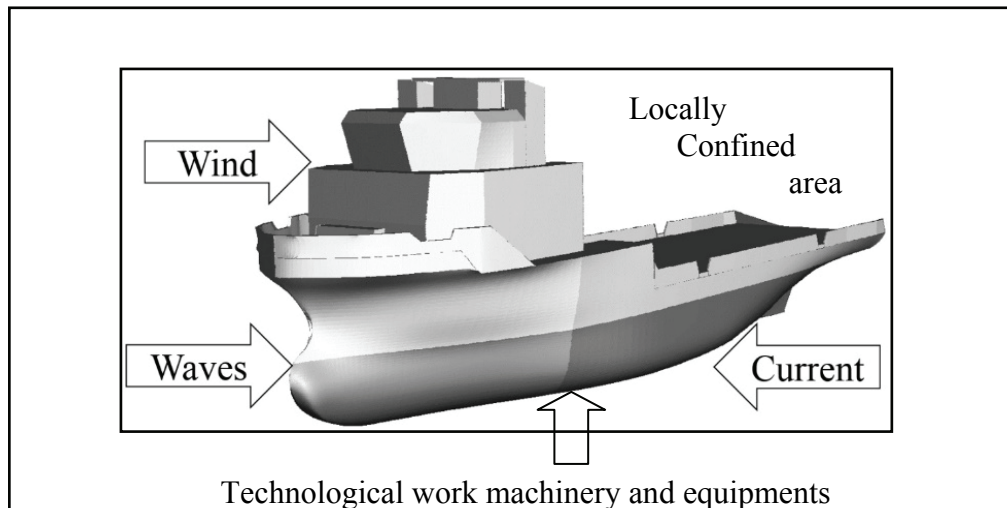


Figure 1 – Environmental factors disturbances.

DPS also provides a manual joystick control that may be used for joystick control alone or in conjunction with a position measuring system for combined manual or auto control of MWTO motion. Without a position measuring system, DPS can provide automatic stabilization and control of the MWTO heading using the gyrocompass as the heading reference. In addition to the standard operational modes and functions, various tailored functions are available to optimize MWTO operation for a wide range of technological works (offshore loading, trenching, dredging, drilling, pipe and cable laying, etc.).

MWTO behavior is a necessary feedback into the DP system. The value of roll and pitch must be allowed in the computations for position obtained from global positioning systems, hydro acoustic position reference systems and, in some cases, taut wire systems. Both these systems generate positional data derived from angular measurements. In order to provide a geodetic datum, the MWTO is equipped with one or more Vertical Reference Sensors, or electronic inclinometers.

In order to provide a DP capability function, the MWTO must be equipped with an adequate powered propellers and thrusters. For the simplest DP purposes, a minimum of three thrusters are required, and most MWTO are fitted with more than this minimum. A typical DP MWTO may be fitted with twin propellers and rudders, a stern tunnel thruster and two (or three) bow tunnel thrusters. Now more and more MWTO are equipped with azimuth thrusters. Azimuth thrusters are reliable tool with high power performance for DP operations. Also commonly used thrusters are retractable thrusters.

Vital to the safety of any DP operation is the uninterrupted power supply. The power plant must always be considered as an integral part of the DP system. Any interruption in the supply of power can have heavy influences on the DP capability of the MWTO. All MWTO with DP capability are particularly vulnerable to blackout or part-blackout situations.

The essence of redundancy is to enable the MWTO safely terminate a DP operation after losing a critical component or system. This concept is referred as “Single Point Failure” mode. Most MWTO have propulsion configurations beyond the minimum, as these provide DP control options such as minimum power consumption, fine position control, and barred zones for azimuth thrusters to protect equipment. It also allows redundancy, which is the ability of MWTO to maintain position and heading despite losing a component within its DP system. Redundancy gives a MWTO added time to safely shut down an operation should a failure occur in the DP system. Potential hazard associated with a DP operation is a key in determining the level of redundancy. On this basis DP systems are divided into three classes [1]. DP system represents itself combination of interacting subsystems, which automatically maintain a MWTO position and heading by means of active thrust. Thrusters are located to provide optimum DP capability and movement, with minimum interference with other thrusters and positioning sensors. DPS itself and group of DPO form polyergatic system, which performs safe navigation and ensures technological work performance (fig. 2).

The main element of MWTO system is a Hull, which contains all other subsystems. The EF nonlinearly influence on the Hull subsystem.

EF system EF consists of Water and Air subsystems. Models of fluid motion reflect following subsystems: Wind, Waves and Current.

Technological work aspects provide additional requirements for MWTO positioning and power demands. It could be also considered as disturbances, because of it nature.

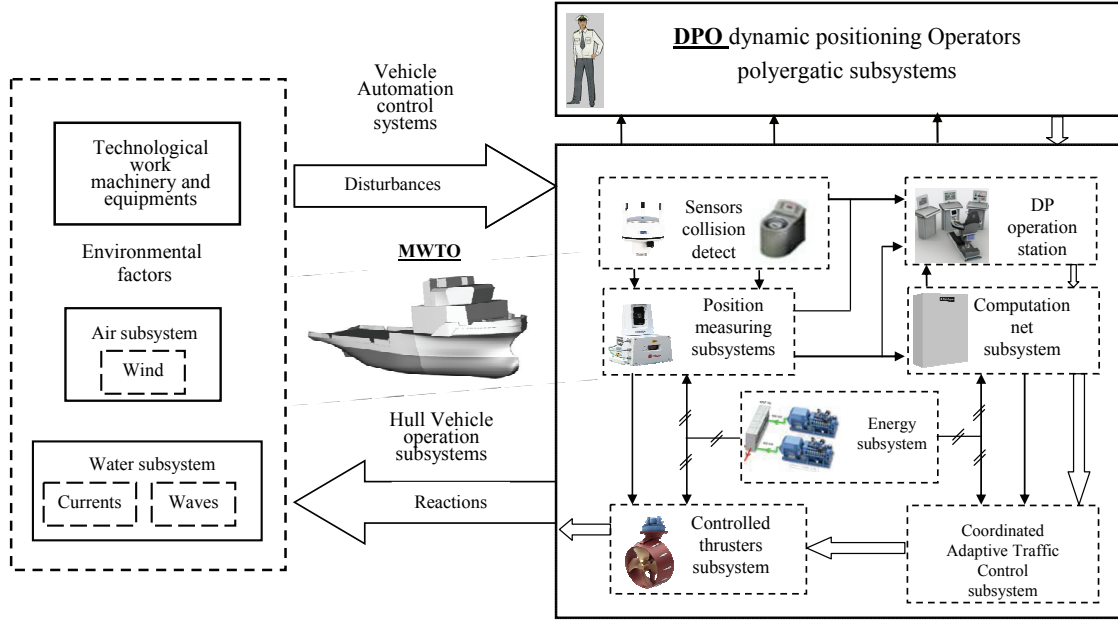


Figure 2 – DP process in confined area of technological work zone.

Energy subsystem acts as a resource of power to provide the MWTO safety. Input and output data from different sensors, position measuring systems and MWTO subsystems form data flows.

Information subsystem consist of redundant computer workstations, which provide graphical user interface, operation information input. As well, it distributes data flows during the information interaction of DPS functional elements, such as position measuring systems and various sensors.

Computation subsystem on the basis of processed data computes signals that should compensate forces of external disturbances. Computation subsystem should be considered as an appropriate open system that connects data from the various sources and produces control signals for the Controlled thrusters subsystem.

The number of control computers will depend upon the level of redundancy available, which in turn will relate to the DP equipment class. In simple terms, single computer systems are fitted in MWTO without a critical dependence upon position keeping. This provide no redundancy. Higher levels of reliability are required for MWTO undertaking technological work involving higher risk. Dual or triple control computer systems can provide extra redundancy.

Controlled thrusters subsystem produces appropriate control force vectors, which are necessary for the MWTO reaction to EF nonlinear disturbances. At the next decomposition level, each of these subsystems could be represented as composition of interacted subsystems.

The proposed methodology of DP Safety assessment based on a new integrated paradigm of coordinated element actions to support decision-making process regarding DP safety in locally confined area of technological work (fig.3).

**Assessment of EF influence.** Nonlinear forces of EF disturbances play a major role in safety of DP operations. DPS compensates these disturbances by active thrust controls that produce the necessary control forces. Forces of controlled reactions should be equal or greater than forces of environmental disturbances as follows:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_c \geq R_d \\ M_c \geq M_d \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{p=1}^n R_{Xcp} \geq \sum_{j=1}^3 R_{Xdj} \\ \sum_{p=1}^n R_{Ycp} \geq \sum_{j=1}^3 R_{Ydj} \\ \sum_{p=1}^n R_{XOYcp} \geq \sum_{j=1}^3 R_{XOYdj} \end{array} \right. \quad (1)$$

where  $R_c$  - force of controlled reaction, kilogram-force;

$M_c$  - moment of controlled reaction, Nm;

$R_d$  - nonlinear force of EF disturbances, kilogram-force;

$M_d$  – nonlinear moment of EF disturbance, Nm;

$R_{Xc}, R_{Yc}, R_{Xd}, R_{Yd}$  - projections of forces on the corresponding axis of MWTO coordinate system, kilogram-force;

p - number of MWTO thrusters;

j – number of EF.

A comprehensive reserve of controlled thrusters reactions considered to be a quantitative characteristic of DP safety reserve. The complex dynamic system of threshold type MWTO – EF functioning normally when the process of nonlinear disturbance and typical parameters of the system don't extend beyond all established limits.

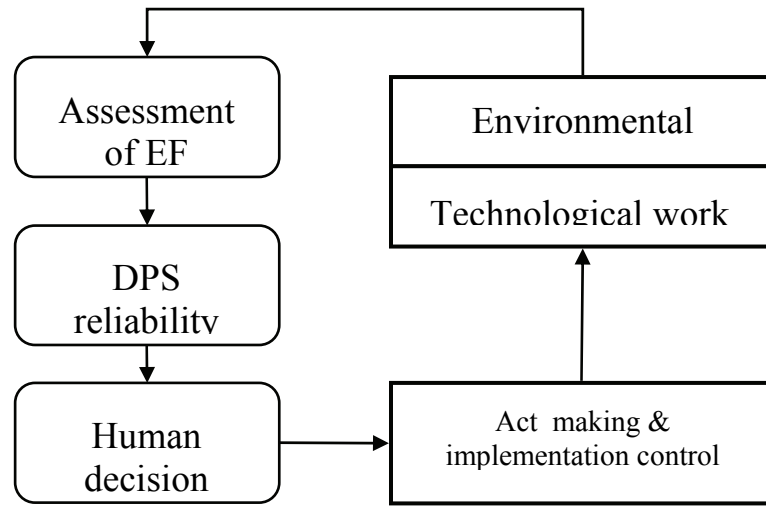


Figure 3 – Methodology diagram.

**DPS reliability assessment.** Proper work probability of all systems and components, which form DPS is a quantity characteristic of DPS safety.  $\tilde{P}_{DPS}$  - the probability of safe functioning DPS depends of Hull subsystem ( $\tilde{P}_{HS}$ ), Information subsystem ( $\tilde{P}_{IS}$ ), Computation subsystem ( $\tilde{P}_{CS}$ ), Energy subsystem ( $\tilde{P}_{ES}$ ), Controlled thrusters subsystem ( $\tilde{P}_{CTS}$ ) safe function probabilities:

$$\tilde{P}_{DPS} = \tilde{P}_{HS} \cdot \tilde{P}_{IS} \cdot \tilde{P}_{CS} \cdot \tilde{P}_{ES} \cdot \tilde{P}_{CTS} \quad (2)$$

In case of equipment redundancy by number of similar equipment as per DPS classification requirements, the probability of safe function could be calculated by following common equation:

$$\tilde{P}_{System} = 1 - (1 - \tilde{P}_{RE})^n, \quad (3)$$

where,  $\tilde{P}_{System}$  - probability of system safe function;

$\tilde{P}_{RE}$  - probability of redundant equipment safe function.

n - number of redundant equipment accordingly to DPS class.

**Human factor assessment.** Total DP safety depends on human factor and DPS reliability. In this context, it can be considered that DPO located in the event flow, which is defined as a sequence of situation events occurring one after the other at random times. This flow represents different events from different sources: EF, technological work performance, DPS, interaction in DPO group. Flow of events called stationary as its probabilistic characteristics do not depend on the choice of the origin or, more specifically, if the hit probability of either the number of events at any time interval depends only on the length of this interval.

Being in the flow of events DPO analyze it and respond appropriately to the flow of events. Reactions operators in the events forming the flow reactions. Probability flow transition from one state to another state is  $\Lambda_{ij} \tilde{P}_i(t)$ . Consider the case where polyergatic system has a countable number of states in time line:

$$\tilde{P}_0(t), \tilde{P}_1(t), \tilde{P}_2(t), \tilde{P}_3(t), \tilde{P}_4(t) \dots \tilde{P}_i(t) \dots \tilde{P}_n(t), \quad (4)$$

For any time of Markov process flow of DP operation guided by polyergatic system, it is possible to consider following:

$$\sum_{i=1}^{\bar{n}} \tilde{P}_i(t) = 1. \quad (5)$$

To find the probability of DPO safe operation it is necessary to compose and solve Chapman-Kolmogorov equation for the one-parameter family of continuous linear operators:

$$\frac{d\tilde{P}_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{\bar{n}} \Lambda_{ij} \tilde{P}_j(t) - \tilde{P}_i(t) \sum_{j=1}^{\bar{n}} \Lambda_{ij} \quad (6)$$

Decision making process by the DPO is a significant part of the methodology [6]. To make proper decision DPO should consider results of solving the following tasks during limited time horizon:

- DP process safety and optimization in locally confined area of technological work execution.
- Assessment of the current navigation situation.
- Situational decision-making, especially in the critical and extreme conditions of DP operations.
- Implementation of decisions taken accordingly to identified resources and limitations.
- Control of implemented algorithms to achieve adequate MWTO behavior.

**Conclusion.** Safety of DP process is guarantee accordingly to the proposed methodology by using researched analytical regularities of discrete navigation parallel processes and continuous DPO control.

Proposed ergatic interaction structuration provides operational problems solving, which arise during DP in extreme situations where the time factor is crucial. Described above methodology allows ensure safety and increase efficiency of DP operations and is applicable to all classes of DPS and types of MWTO with different propulsion configurations.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IMO MSC Circular 645.Guidelines for vessels with dynamic positioning systems.- IMO, London, 1994.- 22 p.
2. Safe Management and Operation of Offshore Support Vessel.- UK Offshore Operators Association/Chamber of Shipping, London, 2002.- 100 p.
3. IMCA M 109. A Guide to DP-Related Documentation for DP Vessels.- IMCA, London, 2004. – 16 p.
4. IMCA M 182. International Guidelines for The Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels.- IMCA, London, 2006.- 52 p.
5. IMCA M 117 The Training and experience of Key DP Personnel.- IMCA, London, 2006.- 42 p.
6. Баранов Г.Л. Комплексна інтеграція інформаційних процесів інтелектуальних транспортних систем для якісного гарантування безпечного руху у нестационарному середовищі / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, Р.А. Габрук, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Науково-технічний журнал НТУ. – К., 2015. – Вип.3. С. 85-95

#### REFERENCES

1. IMO MSC Circular 645.Guidelines for vessels with dynamic positioning systems.- IMO, London, 1994.- 22 p.
2. Safe Management and Operation of Offshore Support Vessel.- UK Offshore Operators Association/Chamber of Shipping, London, 2002.- 100 p.
3. IMCA M 109. A Guide to DP-Related Documentation for DP Vessels.- IMCA, London, 2004. – 16 p.
4. IMCA M 182. International Guidelines for The Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels.- IMCA, London, 2006.- 52 p.
5. IMCA M 117 The Training and experience of Key DP Personnel.- IMCA, London, 2006.- 42 p.
6. Baranov G.L., Tikhonov I.V., Habruk R.A., Kosenko V.R., Prokhorenko A.M. The intelligent transportation systems with advanced vehicle control Complex for the quality information operation and the uncollission garanted travel in non-stationary environment / G.L. Baranov, I.V. Tikhonov, R.A. Habruk, V.R. Kosenko, A.M. Prokhorenko // Information processes, technologies and systems to transport. - K., NTU, 2015. Vol. 3 - s.85-95



#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Комплексна оцінка безпеки динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі технологічної роботи / Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, О.М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Науково-технічний журнал НТУ. – К.: 2016. - Вип. 4.

Дана робота представляє розроблену інноваційну методику комплексної оцінки керованого оператором процесу динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи. Під час навігації рухомий об'єкт водного транспорту знаходиться під впливом нелінійних динамічних збурень факторів навколишнього середовища.

Представлено структурну схему взаємодії складних ієрархічних систем під час безпечного динамічного позиціонування, де поряд з відомими компонентами враховані впливи технологічної роботи і реакції оператора. На базі зробленої декомпозиції і аналізу систем, було сформовано методологію комплексної кількісної оцінки безпеки динамічного позиціонування. Кількісна оцінка включає в себе чисельні значення запасів реакцій керованих рушіїв і імовірнісні оцінки.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НАВІГАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ, СИСТЕМА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ, БЕЗПЕКА МОРЕПЛАВАННЯ, НЕБЕЗПЕЧНІ ЗБУРЕННЯ.

#### ABSTRACT

Baranov G.L. Complex assessment of safety during dynamic positioning in locally confined area of technological work / G.L. Baranov, R.A. Gabruk, A.M. Prokhorenko // Information processes, technologies and systems on transport- K.: NTU - 2016. - Vol. 4.

This paper presents developed innovation methodology for complex assessment of safety of guided by operator dynamic positioning process in locally confined area of technological work performance. During navigation mobile water transport object affected by nonlinear dynamic disturbances of environmental factors.

It was introduced structured scheme of interaction of complex hierarchic systems during safe dynamic positioning process, where along with well-known components technological work influences and operator's reactions were taken into account. On basis of performed decomposition and system analysis, methodology for complex quantitative assessment of safety dynamic positioning was formed. Quantitative assessment represents numerical values of the controlled thrusters reactions reserve and probability estimations.

**KEY WORDS:** NAVIGATION, CONTROL, DYNAMIC POSITIONING SYSTEM, SAFETY OF NAVIGATION, UNSAFE DISTURBANCES.

#### РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Комплексная оценка безопасности динамического позиционирования в локально ограниченном пространстве технологической работы / Г.Л. Баранов, Р.А. Габрук, А.Н. Прохоренко // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К: НТУ -2016. - Вип. 4.

Данная работа представляет разработанную инновационную методику комплексной оценки управляемого оператором процесса динамического позиционирования в локально ограниченном пространстве выполняемой технологической работы. Во время навигации подвижный объект водного транспорта подвержен нелинейным динамическим возмущениям факторов окружающей среды.

Представлена структурная схема взаимодействия сложных иерархических систем во время безопасного динамического позиционирования, где наряду с известными компонентами учтены влияния технологической работы и реакции оператора. На базе произведенной декомпозиции и анализа систем, была сформирована методология комплексной количественной оценки безопасности динамического позиционирования. Количественная оценка включает в себя численные значения запасов реакций управляемых движителей и вероятностные оценки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** НАВІГАЦІЯ, УПРАВЛЕНИЕ, СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ, ОПАСНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ.

#### АВТОРИ:

Баранов Георгій Леонідович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, тел. +380964882963, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.347а.

Габрук Ростислав Анатолійович, кандидат технічних наук, Одеська національна морська академія, докторант, тел. +380674805034, Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8.

Прохоренко Олександр Миколайович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, тел. +380990343789, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.347а.

Горішна Ірина Ярославівна, Одеська національна морська академія, аспірант, тел. +380931292492, Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідрихсона, 8.

#### AUTHORS:

Baranov Georgiy L., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of Department of Information Systems and Technologies, tel. +380964882963, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, r. 347a.

Gabruk Rostyslav A., PhD, Odessa National Maritime Academy, doctoral, tel. +380674805034, Ukraine, 65029, Odessa, Didrikhsona str., 8.

Prokhorenko Oleksandr M., National Transport University, Postgraduate Student of Department of Information Systems and Technologies, tel. +380990343789, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, r. 347a.

Gorishna Iryna Y. Odessa National Maritime Academy, postgraduate, tel. +380931292492, Ukraine, 65029, Odessa, Didrikhsona str., 8.

#### АВТОРЫ:

Баранов Георгий Леонидович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры информационных систем и технологий, тел. +380964882963, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.347а.

Габрук Ростислав Анатолієвич, кандидат технических наук, Одесская национальная морская академия, докторант, тел. +380674805034, Украина, 65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8.

Прохоренко Александр Николаевич, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры информационных систем и технологий, тел. +380990343789, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.347а.

Горишная Ирина Ярославовна, Одесская национальная морская академия, аспирант, тел. +380931292492, Украина, 65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Хорошко В.О. доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет.

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри електроніки та обчислювальної техніки, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Khoroshko V.O., Doctor of Technical Science, Professor, National Aviation University.

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Science, Professor of Department of Electronics and Computing Technics in National Transport University, Kyiv, Ukraine.

## ЦЕНТР ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ ВІД КІБЕРАТАК

Оксіюк О.Г., доктор технічних наук професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Огбу Д.О., аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## INFORMATION PROTECTING DATA CENTER FROM CYBER-ATTACK

Oksiuk A.G., Doctor of Technical Science Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Ogbu J., PG student, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

## ЦЕНТР ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ ОТ КИБЕРАТАК

Оксиюк А.Г., доктор технических наук профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Огбу Д.О., аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

**Введение.** В данной работе рассмотрены наиболее важные цели безопасности в системе автоматизации распределения и предложены эффективные способы достижения этих целей. Основными моментами здесь являются вопросы безопасности киберсистемы и энергетической коммуникационной системы (PSC), которые выделены в этой работе. Проанализированы основные факторы, способствующие увеличению уязвимости конфиденциальных данных. На основе проведенного анализа выявлена и обоснована необходимость защиты информационных данных от кибератак.

Центр обработки данных это объект, который централизует ИТ - операции и оборудование организации, являясь местом хранения, управления и распределения данных. Центры обработки данных содержат наиболее важные системы сети и имеют жизненно важное значение для непрерывности повседневных операций. Следовательно, безопасность и надежность центров обработки данных и их информации является приоритетной задачей для организаций. Несмотря на то, что дизайны центров обработки данных являются уникальными, они, как правило, классифицируются как интернет - или корпоративные центры обработки данных. Интернет - центры обработки данных, как правило, поддерживают сравнительно мало приложений, чаще всего, на основе браузера, и имеют много пользователей, обычно, неизвестных. В отличие от них, корпоративные центры обработки данных обслуживают меньшее количество пользователей, но имеют больше приложений, которые варьируются от стандартных до пользовательских.

Независимо от классификации, эффективная работа центра обработки данных достигается за счет сбалансированного инвестирования в объект и размещенное оборудование. Элементы выхода из строя центра обработки данных следующие: объект, инфраструктура поддержки, ИТ- оборудование и операционный персонал.

Центры обработки данных значительно изменились за последние годы после внедрения технологий, таких как виртуализация, с целью оптимизации использования ресурсов и увеличения гибкости ИТ. Как предприятию ИТ необходимо продолжать развиваться в направлении обслуживания по требованию, многие организации переходят на сервис облачных вычислений и инфраструктуру. В центре внимания также инициативы с целью уменьшения огромного потребления энергии центрами обработки данных, путем включения более эффективных технологий и методов управления центрами обработки данных, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду.

Информационная безопасность центров обработки данных от кибератак является их составляющей. Кибератаки запускаются через серию компьютерных действий, ставящих под угрозу компьютерную и сетевую безопасность системы. Поэтому растет зависимость компьютерных и сетевых систем от поддержки их критически важных операций в обороне, банковском деле, телекоммуникации, транспорте, электроэнергетике.

Кибератаки стали серьезной угрозой для нашего общества с потенциально серьезными последствиями. Обнаружение кибератаки направлено на выявление кибератаки, пока она действует в

системе компьютера и сети. Есть два подхода к обнаружению кибератак: распознавание комбинаций, обнаружение аномалий.

Эти подходы дополняют друг друга при обнаружении кибератаки. Методы распознавания комбинаций идентифицируют и хранят образцы сигнатур известных атак. Затем они сравнивают наблюдаемое поведение субъекта с этими известными моделями сигнатур атак, и сигнализируют, когда есть совпадение. Методы обнаружения аномалий, включают в себя определение профиля нормы, наблюдение за деятельностью субъекта и сигнализацию об атаках, когда наблюдаемая деятельность субъекта заметно отличается от нормы профиля. Методы обнаружения аномалий могут обнаруживать как новые, так и известные атаки, если они демонстрируют существенные отличия от профиля нормы. Методы распознавания комбинаций и методы обнаружения аномалий могут улучшить возможности обнаружения, когда используются вместе. Концепция «умной сети» стала «раскрученной пиар акцией». Она получила значительный импульс в последние годы, и, как ожидается, будет развиваться еще интенсивней. Основными моментами здесь являются вопросы безопасности киберсистемы и энергетической коммуникационной системы (PSC), которые выделены в этой работе. Использование электроэнергии имеет первостепенное значение для нашего общества, а также потребности в электроснабжении растут. Благодаря возможностям PSC, системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA) и подстанции теперь взаимосвязаны с другими системами [1].

Эти коммуникации происходят как по выделенной линии, так и через Интернет. Система автоматизации распределения (DAS) предоставляет возможности для центрального сервера собрать эксплуатационные данные, такие как напряжение и ток, чтоб наблюдать и контролировать периферийные фидерные терминальные устройства (FRTU), которые находятся в отдаленных районах, а также для автоматического обнаружения и восстановления ошибок. Поскольку обмен информацией между сервером и полевым оборудованием DAS становится все более важным для работы системы, коммуникационная технология играет важную роль в системе распределения. В большинстве систем SCADA, подход к безопасности опирается на физическую безопасность, когда оборудование находится на тщательно охраняемых объектах и только авторизованные операторы могут получить к ним доступ [9].

Вопросы PSC и кибербезопасности являются жизненно важными составляющими критической информационной инфраструктуры, такой как система умной сети. Данная работа рассматривает возможные кибератаки в приложениях, исходя из настоящей архитектуры распределения коммуникации, а затем выводит цели безопасности, то есть, разработку центра безопасности информационных данных от кибератак.

**Идентификация атак.** Первоначально в целях развития центра безопасности информационных данных от любого вида кибератак требуется идентифицировать атаку и вид атаки, которая также является угрозой для центра обработки данных и информации.

Возможные последствия кибератак включают:

- Потеря нагрузки;
- Потеря информации;
- Экономические потери;
- Повреждение оборудования.

В зависимости от уровня успешности кибератаки и мотивации индивидуального атакующего. Два типа атак может вызвать вышеуказанные последствия. Нападения с краткосрочным эффектом, которые могут быть определены по поведению. Последствия от закрытия системы SCADA через отказ обслуживания (DoS) атак или удаление файловых систем можно отключить систему онлайн мониторинга и контроля. Прямым следствием кибератаки может также быть такое явление как потеря нагрузки в энергосистеме. Существуют хорошо спланированные атаки, которые требуют глубоких знаний энергосистемы. Примером является вторжение в изменение настроек реле. Такие атаки могут потребовать вторжения в сети на важных подстанциях, чтобы вызвать каскадный эффект. Каскадные события могут привести к крупным отключениям электроэнергии, которые могут иметь катастрофические последствия. Другое нападение включает в себя замедления связи между подстанциями и центрами управления, перегружая локальные системы компьютерной сети. Другой сценарий, это изменение одной строки схемы центра управления, что может ввести в заблуждение диспетчеров [2].

С точки зрения анализа данных кибератаки, существует, по крайней мере, два взаимодополняющих подхода. Один подход заключается в визуализации данных кибератаки, такой как использование нейронных методов проекции для визуализации портов, наблюдаемых в данных

системы-ловушки для хакеров. Тем не менее, широко используемый подход — это статистический анализ. В рамках этого подхода, существующие исследования в основном сосредоточены на следующих аспектах: анализ деятельности зондирования нападавших; группирование атак и характерных интернет угроз, например, определение времени поступления атаки через смесь Парето и экспоненциальных распределений. В отличие от этих исследований, он систематически изучает идентификацию, эксплуатацию и причину статистических свойств, проявляемых данных.

С точки зрения использования систем-ловушек для хакеров, чтобы улучшить защиту. Системы-ловушки были использованы, чтобы помочь обнаружить различные нападения, в том числе DoS (отказ в обслуживании), вирусы-черви, ботнеты, интернет угрозы сообщениями, генерирующие сигнатуры атак и обнаруживающие целевые атаки. Эти исследования важны, но ортогональны в фокусе настоящей работы. Вопросы безопасности в системе SCADA были проанализированы и некоторые усилия были направлены для разработки механизмов безопасности. Работы в основном были сосредоточены на схемах управления ключами для криптографического алгоритма, а также вопросах переходного периода для адаптации механизмов обеспечения безопасности и схемах обнаружения вторжений. Что касается кибератак, система распределения более уязвима во многих отношениях [3].

Оконечные устройства в системе SCADA в основном расположены в ограниченных локальных сетях, в то время как FRTU в системе распределения, в большинстве случаев, находятся на отдаленных и беспилотных сайтах и распространяются в глобальных сетях. Когда связи между сервером DAS и FRTU становятся более важными, необходимо применить меры безопасности, чтобы защитить нормальную работу управления от любых киберугроз. Шифрование сообщений может скрыть содержание сообщения от посторонних [8]. Есть два вида алгоритмов шифрования. Одним из них является алгоритм симметричного ключа, который использует один и тот же ключ шифрования, который является общим между отправителем и получателем. Другой, это алгоритм асимметричного ключа, который использует два ключа, открытый ключ и закрытый ключ. Алгоритмы шифрования используются не только для конфиденциальности сообщений, но и аутентификации и целостности сообщений [7].

**Применение протоколов безопасности.** Поскольку устройства, реализующие протоколы безопасности нельзя никому доверять, они часто устанавливаются на удаленных необслуживаемых объектах. Инфраструктура связи, которую мы рассматриваем, не является безопасной, по сути, потому что сервер DAS является базовым узлом, который общается с другими узлами в сети, если ошибка произойдет на сервере, это выведет из строя всю сеть [6].

Обычно сервер DAS установлен в защищенном месте. Предположим, что сервер является надежным основанием, и все FRTU доверяют серверу во время первоначальной настройки. Во время создания, серверу дают два главных ключа. Один, это главный ключ шифрования и используется для шифрования сеансового ключа. Другой это главный ключ проверки аутентификации, используемый для проверки подлинности сообщения. Код аутентификации сообщения (MAC) используется для проверки подлинности отправителя и целостности сообщения. Для того чтобы избежать дополнительных расчётов любого метода шифрования, симметричного или асимметричного, выбирают хеширование с секретным ключом для аутентификации сообщения (HMAC) в качестве алгоритма аутентификации. Алгоритм открытого ключа обычно используется в качестве удобного способа в создании защищенного канала для распределения секретного ключа между двумя узлами сети. Тем не менее, криптография открытого ключа является тяжелым бременем в вычислительном смысле для ограниченных в ресурсе FRTU [5]. Таким образом, в данной работе мы используем алгоритм симметричного ключа с использованием сервера DAS в качестве доверенного базового узла для распространения секретного ключа.

**Предлагаемая методология.** Анализирует типы киберугроз во многих приложениях системы распределения и формулирует цели безопасности. Целью эффективного протокола безопасности является достижение этих задач. Протокол позволяет избежать сложных вычислений любого алгоритма шифрования, учитывая ограниченные ресурсы сетевых узлов [10]. Предлагаемый метод используется для оценки уязвимости компьютерных сетей и потенциальных потерь нагрузки в энергосистеме в результате кибератаки. Ослабленная кибербезопасность системы SCADA может вызвать серьезные последствия для системы питания, если атака в состоянии запустить разрушительные действия переключения, ведущие к потере нагрузки. Предлагаемая структура состоит из двух аспектов:

- Модель киберсети;
- Моделирование потока питания.

Объединение этих двух моделей позволяет оценить влияние, вызванное возможной кибератакой. Предложенная методика может быть использована для:

- Моделирования точек доступа к системе SCADA;
- Построения модели киберсети для вторжений и статуса;
- Имитация кибератаки с использованием моделей вторжения с целью проведения оценки; Их воздействия на основе моделирования потока мощности.

Предложенный метод оценки уязвимости осуществляется на трех уровнях: система, сценарии и точки доступа.

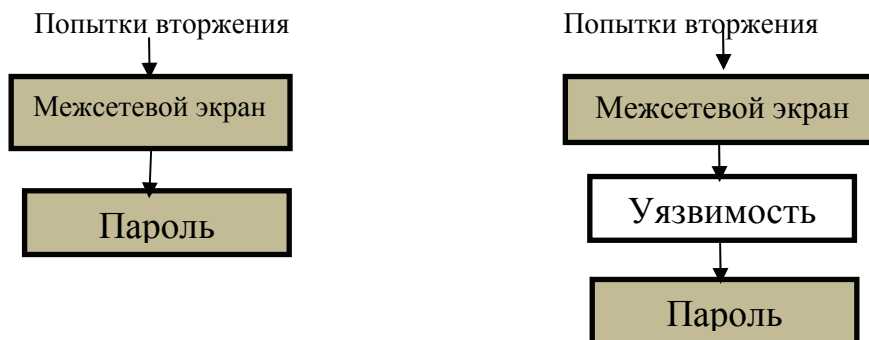


Рисунок 1 – Предлагаемая модель и модель с уязвимостью ОС

**Вывод.** Центр обработки данных является централизованным хранилищем, физическим или виртуальным, для хранения, управления и распространения данных и информации, собранных вокруг конкретной совокупности знаний или относящихся к конкретному виду деятельности. Центр обработки данных является средством, используемым для размещения компьютерных систем и соответствующих компонентов, таких как телекоммуникации и системы хранения. Он обычно включает в себя избыточные или резервные источники питания, резервные соединения передачи данных, экологический контроль и различные устройства безопасности. Крупные центры обработки данных проводят операции промышленных масштабов, используя столько же электричества, сколько небольшой город.

Введенная новая концепция стохастического процесса кибератаки, которая предлагает новую перспективу для изучения среды кибератак, в частности, может быть инстанцирована во множественных резолюциях, таких, как уровень сети, уровень потерпевшего и уровень порта. Затем предложена статистическая база, которая сосредоточена на выявлении. В этой работе, мы определили наиболее важные цели безопасности в системе автоматизации распределения и предложили эффективные способы достижения этих целей.

Аутентификация и целостность сообщений является гораздо более важной, чем любые другие требования безопасности в системе распределения приложений. Предлагаемые протоколы накладывают незначительное вычислительное бремя на FRTU, в результате чего меньше времени используется на операции DAS, чем в тех, где используются алгоритмы шифрования. Определение уязвимости является важнейшей задачей для того, чтобы систематически оценивать энергетическую инфраструктуру кибербезопасности. Предлагаемая аналитическая структура обеспечивает количественное измерение уязвимости системы. Настоящее исследование вводит ряд интересных проблем для будущих исследований.

Практически каждый вопрос безопасности центров обработки данных и мандат регулирования приводил к точечному решению. Это реактивный процесс, в котором новые точечные решения добавляются при каждом повороте и это привело к тому, что управление ЦОД сложное, многокомпонентное, дорогое, и разьединенное, таким образом, разоряющее большинство организаций. Необходима стратегическая основа, которая поможет соединить исторически разрозненные части.

Необходимо контролировать физический доступ к центру данных, сканировать на наличие уязвимости приложений, контролировать доступность и целостность, оптимизацию безопасности, управление безопасности, создать безопасные зоны в сети, блокировать серверы и хосты для того, чтобы сделать центр обработки данных более безопасным от кибератак информационных данных.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. T. A. Longstaff, Clyde Chittister, Rich Pethia, Yacov Y. Haimes, "Are We Forgetting the Risks of Information Technology", IEEE Computer, pp 43–51, December, 2000.
2. N. Ye, C. Hosmer, J. Giordano, J. Feldman, "Critical Information Infrastructure Protection through Process Modeling and Model-based Information Fusion", Proceedings of the Information Survivability Workshop, 1998.
3. F. Cohen "Simulating Cyber Attacks, Defenses, and Consequences", IEEE Symposium on Security and Privacy Special 20th Anniversary Program, Berkeley, CA, May, 1999.
4. Yebin Zhang, and Connie M. Borror "Robustness of the Markov-Chain Model for Cyber-Attack Detection" IEEE Trans. Reliability, vol. 53, no. 1, March 2004.
5. Rex B. Hughes, "NATO and Cyber Defence: Mission Accomplished?" Netherlands Atlantic Association, Amsterdam, Atlantisch Perspectief 8 (2008).
6. "The EU Internal Security Strategy in Action: Five steps toward a more secure Europe," European Commission, November 22, 2010.
7. T. A. Wadlow, The Process of Network Security, Addison-Wesley, Nov 30, 2005.
8. W. Kaufman, Running LINUX, O'Reilly, 1999.
9. S. Northcutt, Network Intrusion Detection An Analyst's Handbook, New Riders, 1999.
10. Quoted in Jim Garamone, "Lynn: NATO Must Get Ahead of Cyber Threat," American Forces Press Service, January 25, 2011.

## REFERENCES

1. T. A. Longstaff, Clyde Chittister, Rich Pethia, Yacov Y. Haimes, "Are We Forgetting the Risks of Information Technology", IEEE Computer, pp 43–51, December, 2000.
2. N. Ye, C. Hosmer, J. Giordano, J. Feldman, "Critical Information Infrastructure Protection through Process Modeling and Model-based Information Fusion", Proceedings of the Information Survivability Workshop, 1998.
3. F. Cohen "Simulating Cyber Attacks, Defenses, and Consequences", IEEE Symposium on Security and Privacy Special 20th Anniversary Program, Berkeley, CA, May, 1999.
4. Yebin Zhang, and Connie M. Borror "Robustness of the Markov-Chain Model for Cyber-Attack Detection" IEEE Trans. Reliability, vol. 53, no. 1, March 2004.
5. Rex B. Hughes, "NATO and Cyber Defence: Mission Accomplished?" Netherlands Atlantic Association, Amsterdam, Atlantisch Perspectief 8 (2008).
6. "The EU Internal Security Strategy in Action: Five steps toward a more secure Europe," European Commission, November 22, 2010.
7. T. A. Wadlow, The Process of Network Security, Addison-Wesley, Nov 30, 2005.
8. W. Kaufman, Running LINUX, O'Reilly, 1999.
9. S. Northcutt, Network Intrusion Detection An Analyst's Handbook, New Riders, 1999.
10. Quoted in Jim Garamone, "Lynn: NATO Must Get Ahead of Cyber Threat," American Forces Press Service, January 25, 2011.

## РЕФЕРАТ

Оксіюк О.Г. Центр захисту інформаційних даних від кібератак / О.Г. Оксіюк, Д.О. Орбу // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ – 2016. – Вип. 4.

У цій статті розглянуті найбільш важливі цілі безпеки в системі автоматизації розподілу і запропоновані ефективні способи досягнення цих цілей. Основними моментами тут є питання безпеки кіберсистеми і енергетичної комунікаційної системи (PSC), які виділені в цій роботі. Проаналізовані основні чинники, сприяючі збільшенню уразливості конфіденційних даних. На основі проведеного аналізу виявлена і обґрунтована необхідність захисту інформаційних даних від кібератак.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІНФОРМАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА, ІНФОРМАЦІЙНІ ЗАГРОЗИ, КІБЕРАТАКА, КІБЕРБЕЗПЕКА, КІБЕРЗАГРОЗА, СТРАТЕГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ.

## ABSTRACT

A.Oksiuk. Information protecting data center from cyber-attack / A. Oksiuk, J. Ogbu // Information processes, technologies and systems to transport. - K.: NTU - 2016 – Vol. 4.

In this article, the most essential aims of safety are considered in the system of automation of distribution and the effective methods of achievement of these aims are offered. Critical parts here are the cyber security issues and the power system communication (PSC) systems, which are stressed in this paper. Basic factors assisting the increase of vulnerability of confidential data are analysed. On the basis of the conducted analysis the necessity of protection of informative data is deduced and reasonable from cyber-attack.

**KEYWORDS:** DATA, DATA SECURITY, DATA THREATS, CYBER-ATTACK, CYBER THREAT, STRATEGY, DATA PROTECTION

## РЕФЕРАТ

Оксиук А.Г. Центр защиты информационных данных от кибератак / А.Г. Оксиук, Д.О. Огбу// Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К: НТУ -2016. - Вып. 4.

В данной статье рассмотрены наиболее важные цели безопасности в системе автоматизации распределения и предложены эффективные способы достижения этих целей. Основными моментами здесь являются вопросы безопасности киберсистемы и энергетической коммуникационной системы (PSC), которые выделены в этой работе. Проанализированы основные факторы, способствующие увеличению уязвимости конфиденциальных данных. На основе проведенного анализа выявлена и обоснована необходимость защиты информационных данных от кибератак.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ИНФОРМАЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ УГРОЗЫ, КИБЕРАТАКА, КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ, КИБЕРУГРОЗА, СТРАТЕГИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗАЩИТА.

## АВТОРИ:

Оксиук Олександр Глібович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, e-mail: o.oksiuk@gmail.com, вул. Ломоносова, 81, кімн. 105, 03022, Київ, Україна

Огбу Д.О., аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: jamesybone@yahoo.com, тел. 0930175299.

## AUTHORS:

Oksiuk Alexandr Glebovich, Doctor of Technical Science, Professor, head of cyber security and information protection, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, e-mail: o.oksiuk@gmail.com, Ukraine, 03022, Kyiv, Lomonosova str. 81, app. 105

James Ogbu, PG student, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, e-mail: jamesybone@yahoo.com, tel. 0930175299.

## АВТОРЫ:

Оксиук Александр Глебович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кибербезопасности и защиты информации, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, e-mail: o.oksiuk@gmail.com, ул. Ломоносова, 81, к. 105, 03022, Киев, Украина

Огбу Д.О., аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, e-mail: jamesybone@yahoo.com, тел. 0930175299.

## РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ляхов О.Л., доктор технічних наук, професор, Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри електроніки та обчислювальної техніки, Київ, Україна.

## REVIEWERS:

Liakhov O. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical Yuriy Kondratuk University, Poltava, Ukraine.

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Science, Professor of Department of Electronics and Computing Technics, National Transport University, Kyiv, Ukraine.



УДК 629.735.051.83:629.7.014-519(045)  
UDC 629.735.051.83:629.7.014-519(045)

## ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПОЛЯРИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОСАДКИ

Клочан А.Є., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## PHYSICS FUNDAMENTALS OF POLARIMETRIC LANDING SYSTEM

Klochan A.E., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ

Клочан А.Е., аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.

**Вступ.** Захід на посадку і посадка повітряного судна (ПС) є одними із найбільш відповідальних етапів польоту. Аналіз статистики авіаційних катастроф показує, що близько 40 % катастроф виникає на етапі заходу на посадку і посадці літального апарату (ЛА). Безпека і ефективність заходу на посадку і посадки залежить від ряду факторів: точності витримування траєкторії посадки, точності вимірювання просторового положення повітряного судна відносно площини посадки, стану злітно-посадкової смуги (ЗПС), метеорологічних умов та інших факторів.

Одними з найважливіших параметрів є точності витримування траєкторії посадки та точність вимірювання просторового положення повітряного судна відносно площини посадки. Точне і безперервне визначення відхилення повітряного судна від траєкторії посадки дозволяє проводити посадку у важкодоступних для посадки місцях та здійснювати посадку за складним алгоритмом. Точне і безперервне визначення просторового положення повітряного судна відносно площини посадки дозволяє підвищити точність, безпеку і ефективність заходу на посадку в ручному, директорному та автоматичному режимах посадки, а також, дозволяє уникнути зіткнення повітряного судна з поверхнею посадки окремими частинами конструкції: крилом при посадці з креном, носом чи хвостом при посадці з тангажем.

**Постановка проблеми.** Сучасні повітряні судна використовуються в різних областях діяльності і мають різне призначення. І загалом, виникає необхідність посадки ПС за будь-яких метеорологічних умов, на будь-які площини посадки, в автоматичному та напіваавтоматичному режимах та за складним алгоритмом посадки. В зв'язку з цим до систем посадки пред'являються вимоги по підвищенню точності та чутливості визначення просторового положення ПС та вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки.

Математичний опис просторового положення ЛА має наступний вигляд:  $F = f(\vartheta, \psi, \gamma)$ , де  $\vartheta$  – кут тангажа,  $\psi$  – кут курсу,  $\gamma$  – кут крена. Дана функція реалізується завдяки вимірюванню параметрів  $\vartheta$ ,  $\psi$ ,  $\gamma$  бортовими засобами.

В результаті вимірювань отримують наступну інформацію:

$$\vartheta_{\text{в}} = \vartheta + \xi_{\vartheta},$$

$$\psi_{\text{в}} = \psi + \xi_{\psi},$$

$$\gamma_{\text{в}} = \gamma + \xi_{\gamma},$$

де  $\vartheta_{\text{в}}, \psi_{\text{в}}, \gamma_{\text{в}}$  – виміряні кути тангажа, курсу і крену, відповідно;  $\vartheta, \psi, \gamma$  – істинні значення кутів тангажа, курсу і крену, відповідно;  $\xi_{\vartheta}, \xi_{\psi}, \xi_{\gamma}$  – похибки вимірювання значення кутів тангажа, курсу і крену, відповідно. Значення похибки вимірювань зменшуються завдяки обробці сигналів, наприклад за допомогою оптимального фільтра Калмана.

**Існуючі методи та системи посадки.** Системою посадки називається комплекс наземних і бортових технічних засобів, які забезпечують виведення літаків на аеродром посадки, управління

заходом на посадку, зниження по заданій лінії глісади, приземлення, рух по аеродрому вдень і вночі в простих та складних метеорологічних умовах.

При будь-якому способі заходу на посадку після виконання передпосадочного маневру літак повинен вийти на глісаду зниження, яка є лінією перехрещення двох площин: вертикальної площини посадочного курсу, що проходить через вісь ЗПС, і нахиленої до горизонту площини глісади. Стандартний кут нахилу площини глісади  $\theta$  дорівнює  $2^{\circ}40'$ , хоча для різних типів літаків він може приймати значення у межах  $2...5'$ .

При створенні будь-якої системи посадки ставиться задача неперервного визначення відхилень ЛА від заданих площин глісади та курсу, а також дальності до точки приземлення. Метою застосування різних технічних засобів в системах посадки є створення заданих умовних площин курсу та глісади, які займають чітко визначене положення у просторі.

В залежності від способу утворення заданих площин курсу та глісади існують наступні системи посадки:

- спрощена система посадки;
- радіолокаційна система посадки;
- інструментальна система посадки;
- візуальна система посадки;
- лазерна курсоглісадна система посадки на ефекті розсіювання;
- лазерна курсоглісадна система посадки прямого бачення
- комбінована система посадки.

Спрощена система посадки (ССП) призначена для виведення на аеродром та посадку ЛА, що має на борту найпростіше радіотехнічне обладнання. В ній курс посадки задається положенням наземних приводних радіомаяків, а глісада зниження – певною висотою прольоту характерних точок, що позначаються спеціальними маркерними радіомаяками. Робота спрощеної радіотехнічної системи посадки полягає в позначенні моменту прольоту ЛА над маркерними точками. При цьому льотчик має контролювати висоту прольоту. Точність визначення відхилення ЛА від траєкторії посадки визначається суб'єктивно – пілотами ПС.

Радіолокаційна система посадки (РЛСП) призначена для точного визначення місцеположення ЛА наземним радіолокатором. Визначене із землі положення літака повідомляється екіпажу. В системі посадочний курс та глісада задаються положенням у просторі електромагнітних полів каналів курсу та глісади наземного радіолокатора посадки; Середньоквадратична похибка вимірювання координат по дальності складає не більше 20 м, а азимута – не більше  $0,03^{\circ}$ .

Інструментальна (радіомаякова) система посадки (РМСП) призначена для забезпечення заходу ЛА на посадку по сигналах посадочних радіомаяків міжнародної системи ILS і систем посадки типу СП. В ній створюють умовні площини заданого посадочного курсу та глісади зниження за допомогою електромагнітних полів курсового (КРМ) і глісадного (ГРМ) радіомаяків, сигнали яких приймаються бортовим обладнанням. Отримана інформація про відхилення від заданої траєкторії посадки відображається на відповідних засобах індикації, по яких здійснюється процес керування літаком в директорному або автоматичну режимі керування. Похибка відхилення по курсу складає  $\pm 10$  м., а відхилення по глісаді –  $\pm 1,5$  м.

Візуальні системи посадки передбачають задавання курсу та глісади зниження за допомогою візуальних орієнтирів.

Лазерна курсоглісадна система посадки на ефекті розсіювання призначена для задавання розрахункової траєкторії заходу на посадку за допомогою лінійних орієнтирів в вигляді світлових променів, які жорстко зв'язані з ЗПС. Льотчик спостерігає ці орієнтири за рахунок розсіювання випромінювання на неоднорідностях в атмосфері. Пілотування ПС з використанням цієї системи зводиться до витримування візуальної картини променів в формі «правильної» літери «Т». Перевагою даної системи посадки є можливість встановлення екіпажем ПС візуального контакту з точкою приземлення на відстані 10-14 км., а недоліками – негативна дія лазерного випромінювання на членів екіпажу ПС, неможливість її застосування в системах автоматичного керування, обмежене застосування вдень, із-за втрати контрастності, короточасне осліплювання льотчика при виході з-за хмар. Точність витримування курсу і глісади залежить від пілотів ПС, а точність задавання ліній курсу і глісади складає  $\pm 0,5$  м.

Лазерна курсоглісадна система посадки прямого бачення призначена для випромінювання трьохколірного лазерного випромінювання. Відхилення від глісади і по курсу контролюється пілотами ПС по взаємному положенню глісадних і курсових випромінювачів, які розміщені справа і зліва від ЗПС. Пілотування ПС з використанням цієї системи зводиться до утримування ПС в зоні,

коли видно лише зелені вогні. До переваг даної системи відноситься можливість ефективного застосування при різних метеоумовах, можливість цілодобового застосування, висока контрастність, можливість контролю за ПС на основі лазерної локації, можливість передачі інформації про відхилення від глісади по лазерному оптичному каналі та інші. Недоліками даної системи, як і попередньої є негативна дія лазерного випромінювання на членів екіпажу ПС та обмежена можливість застосування в системах автоматичного керування. Точність витримування курсу і глісади залежить від пілотів ПС, а точність задання курсу і глісади складає  $\pm 1,5$  м.

Комбіновані системи посадки являють собою поєднання декількох систем посадки.

Таким чином радіотехнічні системи посадки використовуються для автоматичної посадки ПС. Точність визначення курсу складає  $\pm 10$  м, а глісади  $\pm 1,5$  м. Лазерні візуальні системи посадки передбачають наявність пілота на борту ПС і не використовуються для автоматичної посадки. Точність визначення курсу і глісади складає  $\pm 0,5 - 1,5$  м.

Отже, існуючі системи посадки забезпечують безперервне і відносно точне вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки. Тому пропонується розробити поляриметричну систему посадки на ефекті заломлення поляризованого променя. Дана система дозволить потенційно підвищити точність та чутливість вимірювання відхилення ЛА від траєкторії посадки.

**Поляриметричний метод визначення кута падіння випромінювання.** Оптичні вимірювання знайшли широке використання в різних областях науки і техніки. Вимірювання поляризації світла – один з найчутливіших методів оптичних вимірювань. Він дозволяє вимірювати азимут площини поляризації випромінювання з точністю  $0,0005^\circ$  [3]. В останні роки використання поляризованого світла в різних областях науки, техніки і практики значно розширилось. Для поляризаційно-оптичних методів характерно те, що вони дозволяють вирішувати завдання, які не можуть бути вирішені іншими методами взагалі або вирішують їх нетривіальними і більш простими шляхами. Поляризаційні методи вимірювання мають дуже високу чутливість. Поляризаційні вимірювання – це вимірювання по визначенню параметрів, які характеризують поляризаційні властивості випромінювання: ступінь поляризації, азимут площини поляризації, еліптичність та інші. Параметри, які визначаються в кожному визначеному випадку залежать від методики дослідження і від пристроїв, які використовуються.

В даний час почали розроблятися поляриметричні методи визначення напрямку поляризованого випромінювання. Дані розробки дозволяють визначати кут повороту рухомого об'єкту відносно нерухомої точки відліку. В [5] розглянуте застосування методу визначення напрямку поляризованого випромінювання для визначення просторового положення ПС під час посадки. Також розглядається питання застосування поляриметричних вимірювальних методів в системах посадки ЛА. Одним із методів для визначення напрямку випромінювання є вимірювання кута падіння поляризованого випромінювання. Причому, поляризоване випромінювання може як випромінюватись з рухомого об'єкта, так і опромінювати об'єкт, що рухається. В цьому випадку, в сприймаючій частині системи вимірювання використовується ізотропна плоско паралельна діелектрична пластина.

В [1] зазначено, що при падінні поляризованого випромінювання на ізотропну діелектричну плоскопаралельну пластину з слабопоглинаючої речовини тип поляризації відбитого та заломленого променів зберігається і відбувається поворот площини поляризації випромінювання. А в [2] приведені результати досліду впливу кута падіння на відбивання лінійно поляризованого світла від плоскої поверхні. Даний дослід підтверджує обґрунтовану в [1] залежність кута повороту площини поляризації випромінювання від кута падіння. Даний дослід і висновки приведені в [1] і [2] ґрунтуються на формулах Френеля. Таким чином, при падінні на ізотропну діелектричну плоскопаралельну пластину з слабо поглинаючої речовини лінійно поляризованого світла відбитий і заломлений промені теж будуть лінійно поляризованими, а поворот площини поляризації буде залежати від кута падіння. Для виведення формули залежності кута повороту площини поляризації від кута падіння розглянемо схему розкладання електричного вектора на  $s$ - і  $p$ - компоненти, яка представлена на рис.1, запишемо формули Френеля та проведемо математичні перетворення.

З схеми розкладання бачимо, що відношення  $s$  – компоненти променя до  $p$  – компонент буде визначати  $\tan(\varphi)$ , де  $\varphi$  – азимут площини поляризації.

Формули Френеля визначають коефіцієнт посилення (пропускання)  $p$ - і  $s$ - компонент падаючого променя для відбитого і заломленого променів.

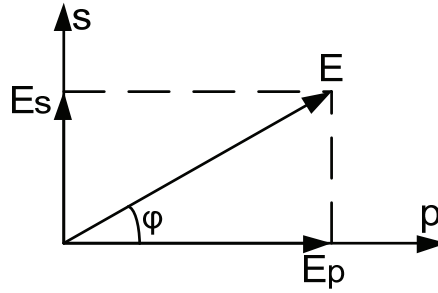


Рисунок 1 – Схема розкладання електричного вектора на  $s$ - і  $p$ -компоненти

Для відбитого променя формули Френеля матимуть наступний вид:

$$\frac{E_{r,s}}{E_{e,s}} = -\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)},$$

$$\frac{E_{r,p}}{E_{e,p}} = \frac{n \cdot \cos(i) - \cos(r)}{n \cdot \cos(i) + \cos(r)} = \frac{\operatorname{tg}(i-r)}{\operatorname{tg}(i+r)},$$

де  $E_{r,s}$  і  $E_{r,p}$  – амплітуди  $s$  і  $p$ -компонент відбитого променя,  $E_{e,s}$  і  $E_{e,p}$  – амплітуди  $s$  і  $p$ -компонент падаючого променя,  $i$  – кут падіння,  $r$  – кут заломлення,  $n$  – показник заломлення.

Для випромінювання, яке пройшло через поверхню поділу двох середовищ (заломленого променя) формули Френеля матимуть вид:

$$\frac{E_{d,s}}{E_{e,s}} = \frac{2 \cdot \sin(r) \cdot \cos(i)}{\sin(i+r)},$$

$$\frac{E_{d,p}}{E_{e,p}} = \frac{2 \cdot \sin(r) \cdot \cos(i)}{\sin(i+r) \cdot \cos(i-r)},$$

де  $E_{d,s}$  і  $E_{d,p}$  – амплітуди  $s$  і  $p$ -компонент заломленого променя,  $E_{e,s}$  і  $E_{e,p}$  – амплітуди  $s$  і  $p$ -компонент падаючого променя,  $i$  – кут падіння,  $r$  – кут заломлення.

Відношення коефіцієнтів посилення  $s$ - і  $p$ -компонент падаючого променя для відбитого променя матиме вид:

$$\frac{E_{r,s}}{E_{e,s}} \bigg/ \frac{E_{r,p}}{E_{e,p}} = -\frac{\sin(i-r) \cdot \operatorname{tg}(i+r)}{\sin(i+r) \cdot \operatorname{tg}(i-r)} = -\frac{\cos(i-r)}{\cos(i+r)} = \frac{E_{r,s}}{E_{r,p}} \cdot \frac{E_{e,p}}{E_{e,s}} \quad (1)$$

Відношення коефіцієнтів посилення  $s$ - і  $p$ -компонент падаючого променя для променя, який пройшов через поверхню поділу матиме вид:

$$\frac{E_{d,s}}{E_{e,s}} \bigg/ \frac{E_{d,p}}{E_{e,p}} = \frac{2 \cdot \sin(r) \cdot \cos(i) \cdot \sin(i+r) \cdot \cos(i-r)}{2 \cdot \sin(i+r) \cdot \sin(r) \cdot \cos(i)} = \cos(i-r) = \frac{E_{d,s}}{E_{d,p}} \cdot \frac{E_{e,p}}{E_{e,s}} \quad (2)$$

З врахуванням схеми розкладання електричного вектора на  $s$ - і  $p$ -компоненти формули (1) і (2) матимуть наступний вид:

$$\operatorname{tg}(\varphi_r) \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}(\varphi_e)} = -\frac{\cos(i-r)}{\cos(i+r)},$$

$$\operatorname{tg}(\varphi_d) \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}(\varphi_e)} = \cos(i-r),$$

де  $\varphi_r$  – азимут площини поляризації відбитого променя,  $\varphi_e$  – азимут площини поляризації падаючого променя,  $\varphi_d$  – азимут площини поляризації заломленого променя.

Для заломленого променя, що пройшов через одну грань пластинки  $\operatorname{tg}(\varphi_d) = \cos(i-r) \cdot \operatorname{tg}(\varphi_e)$ , цей промінь буде падаючим при проходженні через другу грань пластинки. Для заломленого променя, що пройшов через дві грані пластинки  $\operatorname{tg}(\varphi_d) = \cos^2(i-r) \cdot \operatorname{tg}(\varphi_e)$ . Тоді значення азимута площини поляризації відбитого і заломленого променя, який пройшов через дві грані пластинки, можна визначити за наступними формулами:

$$\varphi_r = \arctg\left(-\frac{\cos(i-r)}{\cos(i+r)} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_e)\right),$$

$$\varphi_d = \arctg[\cos^2(i-r)g(\varphi_e)].$$
(3)

Оскільки для пластини з слабо поглинаючої речовини інтенсивність падаючого променя ділиться між відбитим і заломленими променями так, що переважна частина інтенсивності передається заломленому променю, то в даному методі пропонується вимірювати поворот площини поляризації заломленого променя. З залежності (3) бачимо, що азимут площини поляризації заломленого променя залежить від кута падіння і азимута площини поляризації падаючого променя.

Блок-схема оптичного каналу вимірювання, показана на рис. 2.

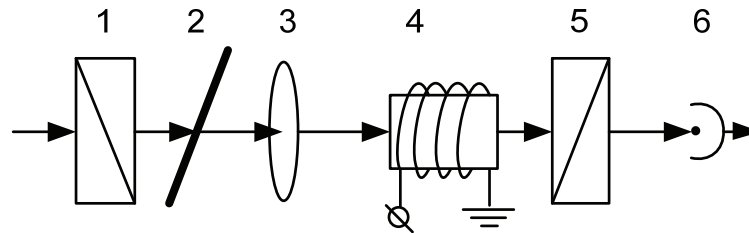


Рисунок 2 – Блок-схема оптичного каналу

Поляризатор 1 призначений для поляризації випромінювання, він забезпечує визначене значення площини поляризації падаючого на пластину випромінювання. Плоскопаралельна діелектрична пластинка 2 призначена для повороту площини поляризації випромінювання в залежності від кута падіння. Вона забезпечує отримання первинної інформації про кут падіння випромінювання. Збиральна лінза 3 призначена для фокусування поляризованого випромінювання після діелектричної пластинки на комірку Фарадея 4. Комірка Фарадея 4 призначена для модуляції поляризованого випромінювання в змінному магнітному полі для підвищення чутливості вимірювання. Аналізатор 5 призначений для визначення азимуту площини поляризації випромінювання після діелектричної пластинки. Фотоприймач 6 призначений для перетворення значення азимуту площини поляризації в електричний сигнал.

Точність вимірювання визначається відношенням сигналу до шуму. Відношення сигнал до шуму для фотоприймача має наступний вигляд [4]:

$$\frac{S}{N} = \frac{U_s^2}{U_{TH}^2 + U_{SH}^2} = A_1(k_1 + k_2)^2 \cdot \Delta^2 \cdot \frac{4 \cdot P^2 \cdot \sin^2(2\alpha)}{\frac{U_{TH}^2}{A_2(k_1 + k_2)^2} + 1 - P \cdot \cos(2\alpha)},$$

де  $S$  – сигнал;  $N$  – шум;  $U_s$ ,  $U_{TH}$ ,  $U_{SH}$  – напруги, які створюються сигналом, тепловими і дробовими шумами, відповідно;  $A_1$ ,  $A_2$  – константи, що залежать від властивостей фотоприймача;  $k_1$ ,  $k_2$  – головні значення пропускання поляризаційних призм;  $\Delta$  – чутливість системи;  $P$  – степінь поляризації світла в оптичному каналі;  $\alpha$  – кутова амплітуда коливань площини поляризації, яка змінюється згідно з періодичним законом:  $\theta = \theta_0 \Phi(t)$ .

#### **Поляриметричний метод вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки.**

Вимірювальна система для визначення кута падіння випромінювання складається з двох основних блоків: блоку випромінювання і блоку вимірювання. Блок випромінювання розміщується в точці відліку, а блок вимірювання на рухомому об'єкті. Блок випромінювання призначений для випромінювання поляризованого променя з визначеним значенням азимута площини поляризації. В найпростішому випадку до складу блока випромінювання входить джерело випромінювання (лазер) і поляризатор. Блок вимірювання призначений для вимірювання азимута площини поляризації випромінювання за діелектричною пластинкою. В найпростішому випадку до складу блока вимірювання входять діелектрична пластинка, збиральна лінза, комірка Фарадея, аналізатор, фотоприймач.

Поляриметричний метод вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки полягає в визначенні просторового кута падіння поляризованого випромінювання шляхом вимірюванні кута повороту азимута площини поляризації заломленого променя і обчисленні плоских кутів падіння променя. Ці плоскі кути падіння будуть відповідати кутам відхилення ПС від площини курсу та площини глісади відповідно.

Формула (3) показує залежність азимута площини поляризації випромінювання після проходження діелектричної пластини від кута падіння і азимута площини поляризації падаючого на пластину випромінювання. При наявності одного каналу вимірювання метод може застосовуватись для вимірювання кута повороту рухомого об'єкту лише навколо однієї осі. І необхідно, щоб об'єкт був нерухомим навколо інших осей. В цьому випадку ми можемо вимірювати кут падіння або поворот площини поляризації падаючого випромінювання (кут крену ПС). Використання двох каналів вимірювань і обчислювача дозволяє вимірювати кут падіння випромінювання і кут крену ПС. Кут падіння залежить від кута тангажу і кута курсу. В цьому випадку для вимірювання крену, курсу і тангажу ПС необхідно використовувати три канали вимірювання і обчислювач. Схема розкладання просторового кута падіння випромінювання в кути тангажу і рискання показано на рис. 3. Залежність кута падіння від кутів рискання і тангажу ПС має наступний вигляд:

$$i = \arctg \sqrt{\operatorname{tg}^2(\vartheta) + \operatorname{tg}^2(\psi)}$$

де  $i$  - кут падіння,  $\vartheta$  - кут тангажа,  $\psi$  - кут рискання.

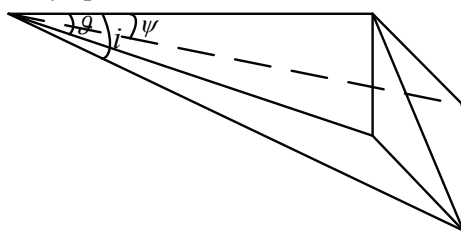


Рисунок 3 – Схема розкладання кут падіння випромінювання в кути тангажу і рискання

Оскільки просторовий кут падіння випромінювання залежить і від кута рискання і від кута тангажу, то необхідно мати два канали вимірювання для однозначного визначення плоских кутів падіння випромінювання. А з врахуванням необхідності двох каналів вимірювання для однозначного визначення просторового кута падіння – необхідно чотири вимірювальних канали. Використання пристрою з модулятором в блоці випромінювання і обчислювачем в блоці вимірювання дозволяє одночасно вимірювати кут падіння і поворот площини поляризації падаючого випромінювання (кут крену) за допомогою одного каналу. Блок схема каналу вимірювання пристрою з модулятором в каналі випромінювання показано на рис. 4.

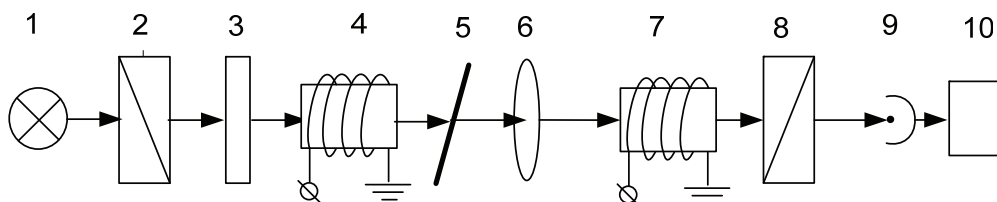


Рисунок 4 – Блок схема каналу вимірювання пристрою з модулятором в блоці випромінювання

1 – джерело випромінювання; 2 – поляризатор; 3 – оптичний фільтр; 4 – модулятор;  
5 - діелектрична пластинка; 6 – збиральна лінза; 7 – комірка Фарадея; 8 – аналізатор; 9 – фотоприймач;  
10 - обчислювач

Алгоритм роботи даного каналу вимірювання буде наступним:

1. Виміряти азимут площини поляризації випромінювання після проходження крізь діелектричну пластинку ( $\varphi_{d0}$ );
2. Повернути площину поляризації падаючого випромінювання на кут  $\delta$ ;
3. Виміряти азимут площини поляризації випромінювання після проходження крізь діелектричну пластинку ( $\varphi_{d1}$ );
4. Обчислюємо різницю між азимутами площини поляризації випромінювання після проходження крізь діелектричну пластинку;
5. Обчислюємо значення коефіцієнта А:

$$A = \frac{1 + \frac{\operatorname{tg}(\Delta)}{\operatorname{tg}(\varphi_{d0})}}{1 - \operatorname{tg}(\varphi_{d0}) \cdot \operatorname{tg}(\Delta)};$$

6. Обчислюємо азимут площини поляризації падаючого випромінювання ( $\varphi_e$ ):

$$\varphi_e = \arctg \left( \frac{-(1-A) \pm \sqrt{(1-A)^2 - 4 \cdot A \cdot \operatorname{tg}^2(\delta)}}{2 \cdot A \cdot \operatorname{tg}(\delta)} \right);$$

7. Обчислюємо кут крену  $\gamma (\gamma = \varphi_e - \varphi_{e0})$ ;

8. Обчислюємо кут падіння, для цього розв'язуємо наступну рівність:

$$i \cdot n - \sin(i) = \sqrt{\arccos \left( \frac{2 \cdot A \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{d0}) \cdot \operatorname{tg}(\delta)}{-(1-A) \pm \sqrt{(1-A)^2 - 4 \cdot A \cdot \operatorname{tg}^2(\delta)}} \right)}.$$

Таким чином, щоб визначити просторове положення ЛА (виміряти кути крену, тангажа і рискання) необхідно блок випромінювання розмістити на площині посадки, а блок вимірювання на борту ПС та проводити вимірювання в двох каналах.

**Поляриметричний метод формування лінії глісади.** Запропонований метод вимірювання відхилення літального апарату від лінії глісади потребує формування лінії глісади за допомогою поляризованого випромінювання. Схема формування лінії глісади за допомогою поляризованого випромінювання приведена на рис. 5

Формування лінії глісади за допомогою поляризованого випромінювання відбувається наступним чином. Лінія глісади формується як перетин площини курсу та площини глісади. Площина курсу формується шляхом розсіювання плоскополяризованого випромінювання в вертикальній площині. При цьому кут розходження випромінювання в горизонтальній площині має бути мінімальним. Площина глісади формується шляхом повороту площини курсу (розсіяного в вертикальній площині плоскополяризованого випромінювання) в горизонтальній площині з одночасним поворотом площини поляризації випромінювання. Таким чином площина курсу буде характеризуватись «нульовим» азимутом площини поляризації падаючого на пластину випромінювання, а площина глісади – «нульовим» кутом падіння. На перетині цих площин буде формуватись лінія глісади, яка буде характеризуватись «нульовим» кутом падіння та «нульовим» азимутом площини поляризації.

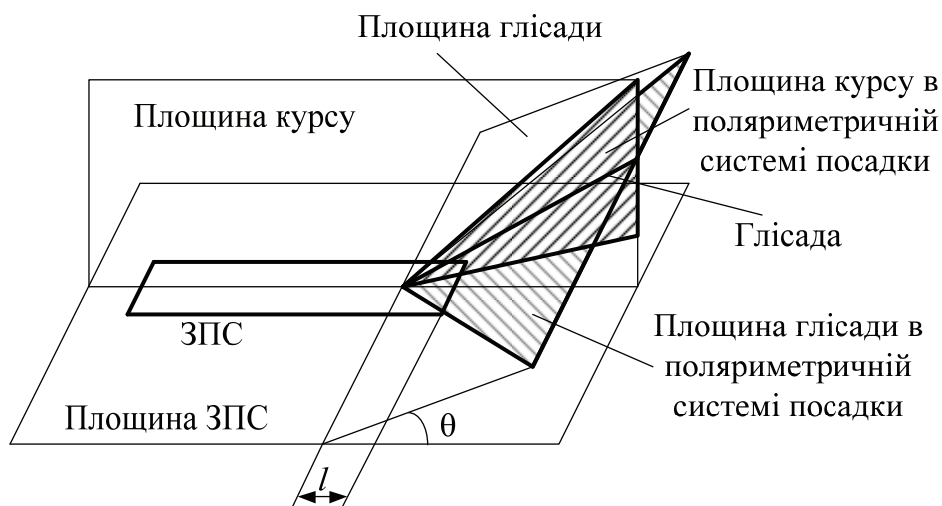


Рисунок 5 – Схема формування лінії глісади за допомогою поляризованого випромінювання

**Блок схема пристрою для поляриметричної системи посадки.** Розглянемо блок-схему двоканального пристрою для поляриметричної системи посадки, яку приведено на рис. 6.



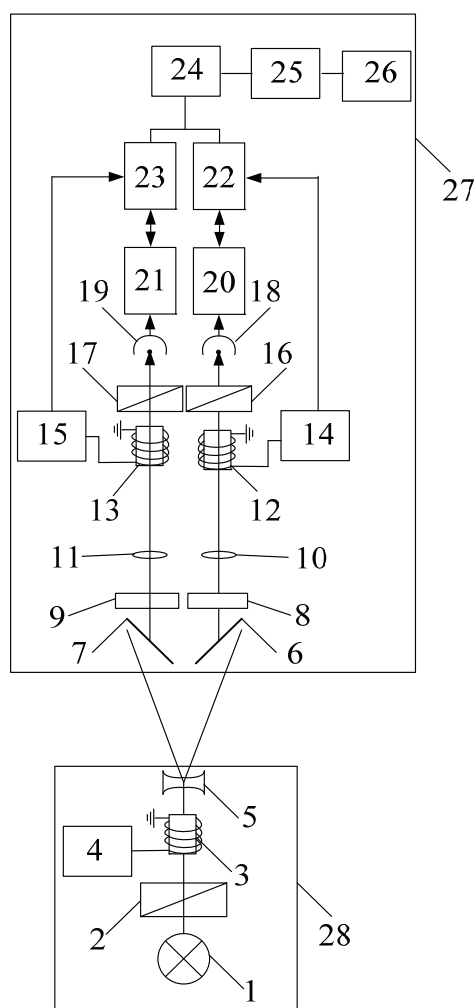


Рисунок 6 – Блок схема пристрою для поляриметричної системи посадки

Вимірювальний пристрій складається з двох основних блоків: блок випромінювання 28 і блок вимірювання 27. Блок випромінювання 28, включає джерело випромінювання 1; поляризатор 2, який призначений для поляризації випромінювання; модулятор 3, який призначений для повороту площини поляризації падаючого на діелектричні пластини 6 і 7 випромінювання на кут  $\delta$ ; звуковий генератор 4, який призначений для формування керуючих сигналів, які подаються на модулятор 3; розсіювальна лінза 5, яка призначена для розсіювання поляризованого випромінювання з метою покриття плоскопаралельних діелектричних пластин 6 і 7 поляризованим світлом. Блок вимірювання 27 складається з плоских діелектричних пластин 6 і 7, які призначені для повороту площини поляризації заломленого променя в залежності від кута падіння і азимута площини поляризації падаючого випромінювання, вони забезпечують отримання первинної інформації про кут падіння і азимут площини поляризації випромінювання; оптичні фільтри 8 і 9, які призначені для фільтрації випромінювання; фокусуючі лінзи 10 і 11, які призначені для фокусувати випромінювання після оптичних фільтрів 8 і 9 на комірки Фарадея 12 і 13; звукові генератори 14 і 15, які призначені для формування керуючих сигналів, які подаються на комірки Фарадея 12 і 13; комірки Фарадея 12 і 13, які призначені для модуляції поляризоване світло в змінному магнітному полі; Аналізатори 16 і 17, які призначені для визначення азимута площини поляризації випромінювання після діелектричних пластин; фотоприймачі 18 і 19, які призначені для перетворення значення азимута площини поляризації в електричний сигнал; вузькосмугові підсилювачі 20 і 21, які призначені для посилення електричного сигналу;

синхронні детектори 22 і 23, які призначені для підвищення чутливості вимірювання, забезпечуючи вимір мінімального сигналу; Мікроконтролер 24 призначений для обробки результатів вимірювань, отриманих в динамічному режимі в двох вимірювальних каналів; блок зберігання 25, який призначений для збору інформації; обчислювач 26 призначений для обчислення, забезпечує обчислення різниці між азимутами площини поляризації випромінювання, коефіцієнта А, азимута площини поляризації падаючого випромінювання, кутів крену, тангажу і рискання та кута падіння.

**Результати дослідження.** В роботі розглянута поляриметрична система посадки та блок-схема двохканального поляриметричного пристрою. Два каналу вимірювання відрізняються тим, що діелектричні пластини мають різну кут установки. Це забезпечує різні кути падіння. В якості діелектричної плоскопаралельної пластини використовується алмазна пластина. Принцип роботи пристрою полягає в наступному: завдяки модуляції падаючого випромінювання кожен вимірювальний канал вимірює кут падіння і поворот площини поляризації падаючого випромінювання (кут крену), а кути відхилення по курсу і глісаді визначаються в обчислювачі. Кути відхилення по курсу  $\varphi$  і глісаді  $\theta$  визначаються в результаті розв'язання наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} i_1 = \arctg\left(\sqrt{\lg(\theta + \alpha_{пл1,в})^2 + \lg(\varphi + \alpha_{пл1,г})^2}\right) \\ i_2 = \arctg\left(\sqrt{\lg(\theta + \alpha_{пл2,в})^2 + \lg(\varphi + \alpha_{пл2,г})^2}\right) \end{cases} \quad (4)$$

де  $i_1$  – кут падіння в першому каналі;  $i_2$  – кут падіння в другому каналі;  $\theta$  – кут відхилення по глісаді;  $\varphi$  – кут відхилення по курсу;  $\alpha_{пл1,в}$  – кут установки пластини у вертикальній площині в першому каналі;  $\alpha_{пл2,в}$  – кут установки пластини у вертикальній площині в 2-го каналу;  $\alpha_{пл1,г}$  – кут установки



пластини в горизонтальній площині в першу каналі;  $\alpha_{пл2,е}$  – кут установки пластини в горизонтальній площині в другому каналі. Кут тангажу літака можна знайти за наступною формулою:  $\vartheta = \theta - \theta_0$  де  $\theta_0$  - кут нахилу площини глісади. Кут курсу літака можна знайти за наступною формулою:  $\psi = \varphi + \psi_0$  де  $\psi_0$  - курс злітно-посадкової смуги.

Графік залежності азимута площини поляризації заломленого променя від кута падіння при різних значеннях азимута площини поляризації падаючого променя, зображених на рис. 7.

Після аналізу залежностей графік азимута площини поляризації заломленого променя від кута падіння (рис. 7), робимо висновок, що залежність симетрична щодо осі  $y$  і залежить від азимута площини поляризації падаючого променя.

Щоб знайти оптимальний азимут площини поляризації падаючого променя побудуємо графік залежності чутливості вимірювань від азимута площини поляризації падаючого променя для додатних і від'ємних кутів падіння. Графік залежності наведений на рис. 8.

Після аналізу графіка залежностей чутливості вимірювань від азимута площини поляризації падаючого променя (рис. 8), робимо висновок, що залежність симетрична щодо нуля і має екстремуми. Графік показує, що найбільша чутливість забезпечує значення азимута площини поляризації  $\varphi_e = \pm 68^\circ$ . Отже, модулятор 3 забезпечує по чергово азимут площини поляризації падіння променя  $\varphi_e = +68^\circ / \varphi_e = -68^\circ$ .

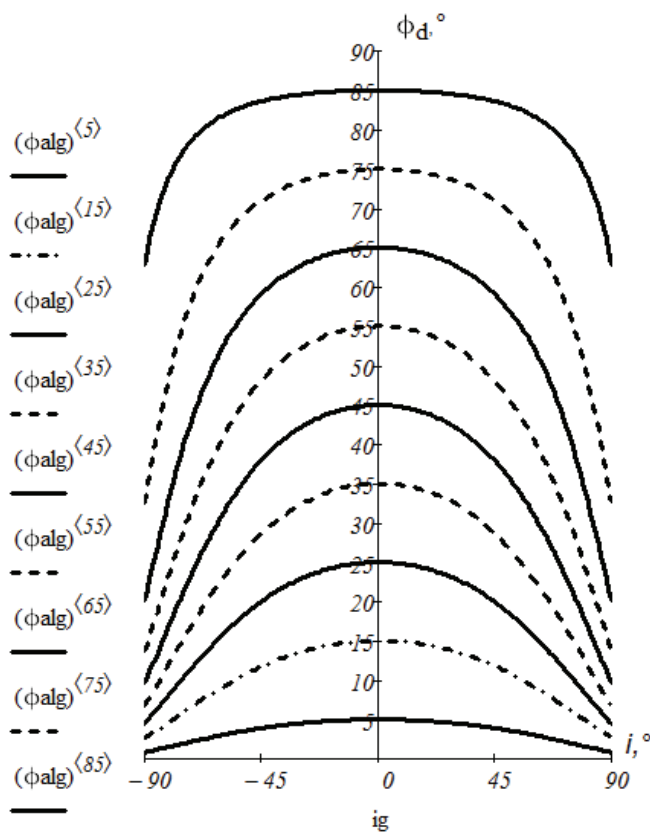


Рисунок 7 – Графік залежності азимута площини поляризації заломленого променя від кута падіння

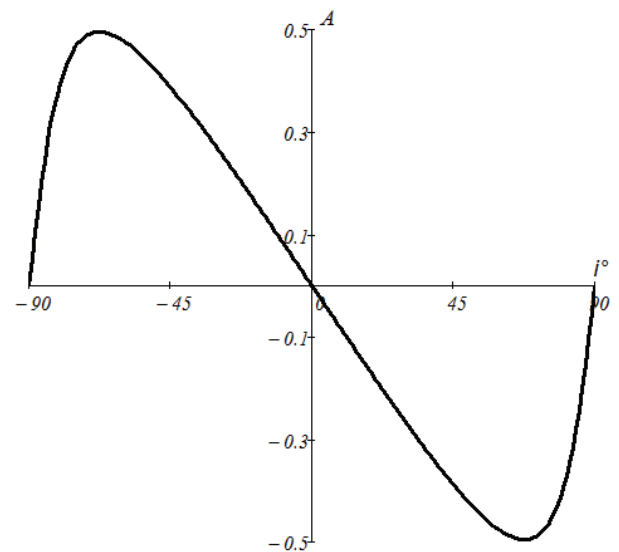


Рисунок 8 – Графік залежності чутливості вимірювань від азимута площини поляризації падаючого променя

Щоб знайти оптимальний кут падіння потрібно побудувати графік залежності чутливості вимірювання і графік залежності інтенсивності заломленого променя від кута падіння на одному графіку. Значення кута падіння точки перетину графіків є оптимальним кутом падіння. Це зображено на рис. 9.

Проаналізувавши графік залежності чутливості вимірювання та інтенсивності заломленого променя від кута падіння (рис. 9), робимо висновок, що оптимальний кут падіння ( $i$ ) складає  $\pm 52,5^\circ$ . Оптимальний кут падіння забезпечується установкою діелектричної пластини під кутом до горизонтальної площини. У зв'язку з тим, що пристрій має два вимірювальних канали Пропонується

встановити пластину в першому каналі під кутом 52,5 до вертикальної площини, а в другому каналі під кутом 52,5 до горизонтальній площині. У цьому випадку система рівнянь (4) буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} i_1 = \arctg\left(\sqrt{\operatorname{tg}(\theta + 52,5)^2 + \operatorname{tg}(\varphi)^2}\right) \\ i_2 = \arctg\left(\sqrt{\operatorname{tg}(\theta)^2 + \operatorname{tg}(\varphi + 52,5)^2}\right) \end{cases}$$

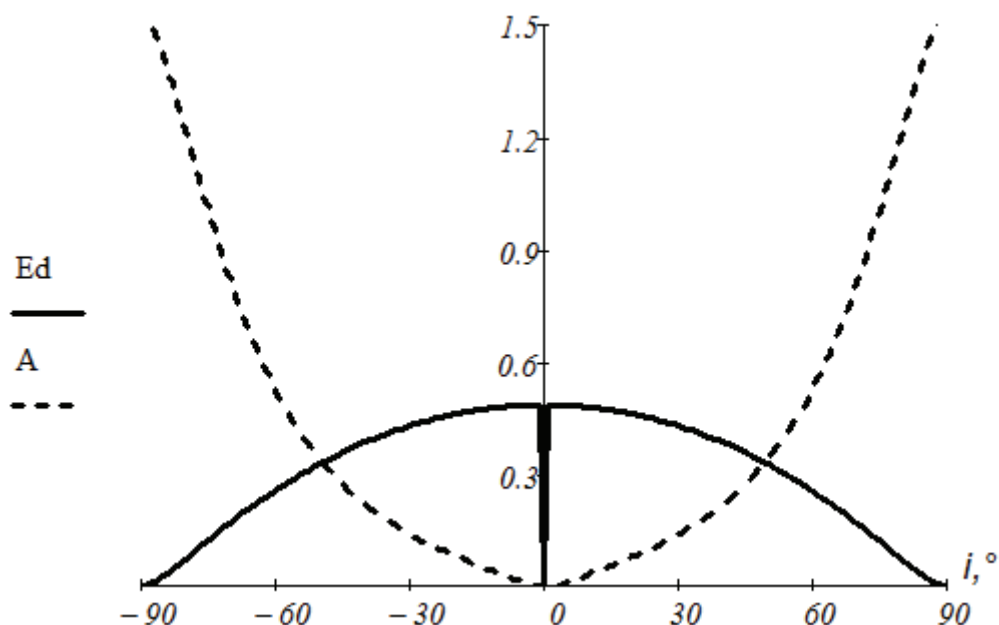


Рисунок 9 – Графік залежності чутливості вимірювання та відносної інтенсивності заломленого променя від кута падіння

**Висновок.** У роботі розглянуті існуючі системи посадки та пропонується поляриметрична система посадки. Використання запропонованої системи дозволить потенційно підвищити точність та чутливість вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки. У статті запропоновано поляриметричний метод формування лінії глісади та блок-схему пристрою для забезпечення поляриметричної системи посадки. В ході розрахунків було визначено оптимальний азимут площини поляризації падаючого випромінювання і оптимальної кута падіння. Також було розроблено схему та алгоритм роботи оптичного каналу з модулятором в блоці випромінювання. Застосування цієї схеми дозволяє скоротити необхідну кількість каналів вимірювання в два рази.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Азам Р., Башара Н. Эллипсомерия и поляризованный свет. Пер. с англ. А.В. Ржанов и К.К. Свиташев. – М.: Мир, 1981. – 584 с.
2. Поль Р.В. Оптика и атомная физика. Пер. с немецкого Н.М. Лозинской. М.: Физико-математическая литература, 1966, 552 с.
3. Скрипец А.В. Передача азимута объекта на расстояние с применением магнитооптического модулятора/ А.В. Скрипец, В.Д. Тронько, М.М. Асанов // Електроніка та системи управління. – 2011. - № 1 (27). – С. 5 – 8.
4. M. Asanov, V. Rogozhin, A. Skrypets, V. Tronko “Estimation of accuracy characteristics of onboard vertical meters based on photopolarimetric metod”. *Electronics and control systems*. no. 3 (34), 2012, pp. 46–50.
5. A. Klochan, V. Romanenko, V. Tronko “Polarimetric method for UAV attitude determination during landing approach and landing”. *Proceedings 2015 IEEE 3rd In-ternational conference «Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)»*, October, 13-15, 2015, Kyiv, Ukraine. – K., 2015. – P. 202-205.

## REFERENCES

1. Azam R., Bashara N. Ellypsomeryya u polyaryzovannnshy svet. Per. s anh. A.V. Rzhанov y K.K. Svytashev. – M.: Myr, 1981. – 584 s.
2. Pol' R.V. Optyka y atomnaya fizyka. Per. s nemetskoho N.M. Lozynskoy. M.: Fyzyko-matematycheskaya lyteratura, 1966, 552 s.
3. Skrypets A.V. Peredacha azymuta ob'ekta na rastoyanye s pryomeneniyem mahnytooptycheskoho modulyatora/ A.V. Skrypets, V.D. Tron'ko, M.M. Asanov // Elektronika ta systemy upravlinnya. – 2011. - # 1 (27). – S. 5 – 8.
4. M. Asanov, V. Rogozhin, A. Skrypets, V. Tronko “Estimation of accuracy characteristics of onboard vertical meters based on photopolarimetric metod”. *Electronics and control systems*. no. 3 (34), 2012, pp. 46–50.
5. A. Klochan, V. Romanenko, V. Tronko “Polarimetric method for UAV attitude determination during landing approach and landing”. Proceedings 2015 IEEE 3rd In-ternational conference «Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)», October, 13-15, 2015, Kyiv, Ukraine. – K., 2015. – P. 202-205.

## РЕФЕРАТ

Клочан А.Є. Фізичні основи поляриметричної системи посадки / А.Є. Клочан // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті – К. : НТУ – 2016. Вип. 4.

Стаття присвячена розгляду проблеми підвищення точності та чутливості визначення просторового положення ПС та вимірювання відхилення ПС від лінії глісади під час посадки. Просторове положення ПС визначається кутами крену, тангажу та курсу. Підвищення точності та чутливості визначення просторового положення ПС може бути досягнуте шляхом розробки нового методу вимірювання, наприклад, поляриметричного. У статті розглядаються існуючі методи та системи посадки повітряного судна та запропоновано поляриметричну систему посадки. Робота цієї системи полягає в визначенні з високою точністю відхилення ПС від траєкторії посадки по каналам курсу та глісади. Також, розроблена система посадки дозволяє вимірювати кут крену ПС під час посадки. Розробка та використання цієї системи посадки потенційно дозволить підвищити точність витримування траєкторії посадки та здійснювати точну посадку на негоризонтальну площину посадки. У статті описані поляриметричний метод визначення кута падіння випромінювання та поляриметричний метод вимірювання відхилення ПС від траєкторії посадки, які лежать в основі роботи розробленої системи посадки. З метою зменшення необхідної кількості каналів вимірювання було розроблено блок-схему пристрою з модулятором в блоці випромінювання та алгоритм його роботи, які приведені в даній статті. Застосування даної схеми дозволяє скоротити необхідну кількість каналів вимірювання вдвічі. Також, у статті запропоновано поляриметричний метод формування лінії глісади: площина курсу формується шляхом розсіювання випромінювання в вертикальній площині, а площина глісади - шляхом повороту площини курсу в горизонтальній площині з одночасним поворотом площини поляризації випромінювання. У статті наведена блок-схема пристрою для поляриметричної системи посадки. Даний пристрій має два канали вимірювання та складається з двох основних блоків: блоку випромінювання та блоку вимірювання. Цей пристрій забезпечує одночасне вимірювання кутів крену, тангажу та рискання повітряного судна та кутів відхилення від лінії глісади по курсу та глісаді під час заходу на посадку та посадці. В ході математичного моделювання та розрахунків було визначено оптимальний азимут площини поляризації падаючого випромінювання і оптимальний кута падіння. Результати моделювання і розрахунків наведені в цій статті.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДІЛЕКТРИЧНА ІЗОТРОПНА ПЛАСТИНА, ПОЛЯРИМЕТР, ПОВІТРЯНЕ СУДНО, СИСТЕМА ПОСАДКИ, ТРАЄКТОРІЯ ПОСАДКИ, ФОРМУЛИ ФРЕНЕЛЯ.

## ABSTRACT

Klochan A.E. Physics Fundamentals Of Polarimetric Landing System/ A.E. Klochan // Information processes, technologies and systems to transport. - K. : NTU - 2016 – Vol. 4.

The article is devoted to consideration of problems: increasing accuracy and sensitivity of aircraft attitude definition and measurements of aircraft deviation from glide-path during landing. Aircraft attitude is defined by angles of roll, pitch and course. Development a new measurement method for aircraft attitude determination, for example, polarimetric, can increase the accuracy and sensitivity of aircraft attitude definition. The papers deals with existing methods and systems of aircraft landing and have proposed polarimetric landing system. Work of this system consists in definition with a high accuracy a deviation of

an aircraft from a landing trajectory in course and glide path channels. Also the developed system allows to measure a aircraft roll angles during landing. Developing and using of this landing system can potentially increase the accuracy of glide-path landing tracking and allow to make exact landing on not horizontal plane of boarding. In article are described methods, which underlie work of developed landing system: a polarimetric method for definition a light beam angle of incidence and a polarimetric method for measuring aircraft deviation from landing trajectory. In this article, also, are resulted the block diagramme of the device with the modulator in the block of radiation and algorithm its works, which has been developed for the purpose of reduction the necessary quantity of measurement channels. Use of this scheme allows to cut necessary quantity of measurement channels by half. The paper also deals with polarimetric method for forming glide-path: the plane of course is formed by radiation dispersion in a vertical plane, and a plane of glide-path - a way to turn the plane of course in a horizontal plane with simultaneous turning the polarization plane of radiation. In article the block-diagram of the device for polarimetric landing systems is resulted. The given device has two channels of measurement and consists of two main blocks: the radiation block and the measurement block. This device provides simultaneous measurement of aircraft roll, yaw, pitch angles and angles of aircraft deviation from a glide –path line at the course and glide during landing approach and landing. During mathematical modelling and calculations has been defined an optimum azimuth of polarization plane and optimum incidence angle of falling light beam. Results of modelling and calculations are given in this article.

**KEYWORDS:** DIELECTRIC ISOTROPIC PLATE, POLARIMETER, AIRCRAFT, LANDING SYSTEM, LANDING TRAJECTORY, FRESNEL FORMULAS.

#### РЕФЕРАТ

Клочан А.Е. Физические основы поляриметрической системы посадки / А.Е. Клочан // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

Статья посвящена рассмотрению проблемы повышения точности и чувствительности определения пространственного положения ВС и измерения отклонения ВС от линии глиссады во время посадки. Пространственное положение ВС определяется углами крена, тангажа и курсу. В статье рассматриваются существующие методы и системы посадки воздушного судна и предложена поляриметрическая система посадки. Работа этой системы состоит в определении с высокой точностью отклонения ВС от траектории посадки по каналам курсу и глиссады. Также, разработанная система посадки позволяет измерять угол крена ВС во время посадки. Разработка и использование этой системы посадки потенциально позволит повысить точность выдерживание траектории посадки и совершать точную посадку на не горизонтальную плоскость посадки. В статье описаны поляриметрический метод определения угла падения излучения и поляриметрический метод измерения отклонения ВС от траектории посадки, которые лежат в основе работы разработанной системы посадки. С целью уменьшения необходимого количества каналов измерения было разработано блок-схему устройства с модулятором в блоке излучения и алгоритм его работы, которые приведены в этой статье. Использование этой схемы позволяет сократить необходимое количество каналов измерения вдвое. Также, в статье предложен поляриметрический метод формирования линии глиссады: плоскость курса формируется путём рассеивания излучения в вертикальной плоскости, а плоскость глиссады – путём поворота плоскости курса в горизонтальной плоскости с одновременным поворотом плоскости поляризации излучения. В статье приведена блок-схема устройства для поляриметрической системы посадки. Данное устройство имеет два канала измерения и состоит из двух основных блоков: блока излучения и блока измерения. Это устройство обеспечивает одновременное измерение углов крену, тангажу и рыскания воздушного судна и углов отклонения от линии глиссады по курсу и глиссаде во время захода на посадку и посадке. В ходе математического моделирования и расчетов было определено оптимальный азимут плоскости поляризации падающего излучения и оптимальный угол падения. Результаты моделирования и расчетов приведены в этой статье.

**КЛЮЧОВЫЕ СЛОВА:** ДИЕЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОТРОПНАЯ ПЛАСТИНА, ПОЛЯРИМЕТР, ВОЗДУШНОЕ СУДНО, СИСТЕМА ПОСАДКИ, ТРАЕКТОРИЯ ПОСАДКИ, ФОРМУЛЫ ФРЕНЕЛЯ.

#### АВТОРИ:

Клочан Арсен Євгенійович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, (068)-352-81-26.

#### AUTHORS

Klochan Arsen E., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukrainian, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, тел. (068)-352-81-26.

#### АВТОРЫ

Клочан Арсен Евгеньевич, аспирант, Национальный транспортный университет, Київ, Україна, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, тел. (068)-352-81-26.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дмитрієв М.М., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Dmytriev M.M., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Baranov G.L., Ph.D., professor, position - professor of department of Information Systems and Technologies in National Transport University, Kyiv, Ukraine.

## НАВИГАЦИЯ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ ВОЛНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Баранов Г.Л., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина.

Цулая А.В., кандидат физико-математических наук, Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина.

Шарко В.П., кандидат технических наук, Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина.

Паршин О.Г., Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина.

## NAVIGATION ON THE BASIS OF KNOWLEDGE WAVE SURFACE SPACE-TIME SIGNALS OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Tsulaya A.V., Ph.D., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine.

Sharko V.P., Ph.D., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine.

Parshin O.G., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine.

## НАВІГАЦІЯ НА ОСНОВІ ЗНАНЬ ХВИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Цулая А.В., кандидат фізико-математичних наук, Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Київ, Україна

Шарко В.П., кандидат технічних наук, Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Київ, Україна

Паршин О.Г., Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Київ, Україна

**Введение.** Обоснование проблемы. Возможность практического использования пространственно-временной обработки спутниковых радионавигационных сигналов существенно расширяет область применения спутниковых радионавигационных систем (СРНС) типа GPS, GLONASS, Galileo [1-4]. Это особенно важно, когда число космических навигационных спутников (КНС), находящихся в области видимости приемника навигационных сигналов (ПНС) наземного навигационного объекта (НО), меньше минимально необходимого для однозначного определения его навигационных параметров (НП) местонахождения в пространственно-временном континууме ставшими классическими методами [3,4].

**Анализ последних исследований.** Известно [2], что существуют стационарные зоны, где нет требуемого уровня покрытия сигналами СРНС. Эти обстоятельства создают принципиальную проблему для гарантирования безопасности выполнения функций транспортными средствами в таких зонах. В то же время существует принципиальная возможность измерения координат ПНС по пространственно-временному сигналу единственного КНС и получения значения системного времени при наличии в области видимости всего двух КНС [1]. Учёт пространственных особенностей радиосигналов КНС, а именно фазовой поверхности сигнала в пространственно-разнесённых точках приёма, позволяет определить местоположение КНС относительно ПНС. А классическая временная обработка радиосигналов позволяет определить глобальные координаты и системное время для данного ПНС [3,5].

**Цель работы.** Получение решения в явном виде для двух «систем пространственных навигационных уравнений», соответствующим случаям известного и неизвестного значения рассогласования между системным временем СРНС (временем передатчика КНС) и временем приёмника ПНС (далее - значение рассогласования времени – ЗРВ -  $t_{\Delta}$ ).

**Постановка задачи.** Применение термина «пространственные уравнения» обусловлено тем, что в них используются данные о фазовой (волновой) поверхности [6] пространственно-временного

сигнала (ПВС) СРНС [1]. Задается математическая зависимость вектора  $\Phi$  - разностей фаз  $\phi_i$  ПВС между парами пространственно-разнесённых приёмных элементов, т.е.  $\Phi = [\phi_1, \dots, \phi_N]^T$ , где  $i=1, \dots, N$ ,  $N$  - число приёмных каналов, от пространственно-временных координат  $X_{HO}$  ПНС навигационного объекта. Требуется определить эти координаты с достаточной степенью точности.

**Основной материал.** Процедура построения первой системы (ЗРВ известно) уравнений согласно с целью данной работы включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. Формируется уравнение, из которого определяется  $\Phi$  - в левой части уравнения записана взаимная пространственная корреляционная функция входного ПВС, представленного вектором  $x$ , и опорного  $s(\Phi)$ ; в правой части единица:

$$\frac{\langle x, s(\Phi) \rangle}{\|x\| \cdot \|s(\Phi)\|} = 1 \quad (1)$$

На основе выбранных моделей сигналов КНС и помех с применением метода максимального правдоподобия, это уравнение было получено в [1].

Шаг 2. Определяется вид функции  $\Phi$ , которая каждому вектору  $\Phi$  ставит в соответствие вектор сферических координат  $R'_{HC}$  наблюдаемого КНС относительно ПНС. В работе [1] дан анализ способа обеспечения однозначного соответствия разностей фаз пространственному положению данного КНС (в настоящей работе предполагается, что однозначное соответствие  $\Phi \leftrightarrow R'_{HC}$  уже найдено):

$$R'_{HC} = \Phi(\Phi) \quad (2)$$

Здесь и далее штрих вверху справа указывает на координаты относительно ПНС, то есть на «локальные» координаты. Получение вектора  $\Phi$  из (1) и  $R'_{HC}$  из (2) можно обобщённо записать так:

$$R'_{HC} = F_1(x) \quad (3)$$

где  $F_1$ : некоторый оператор, описывающий процедуру решения уравнения (1) и преобразование (2).

Шаг 3. Определяется вид вектор-функции  $F_2$  для вычисления вектора прямоугольных координат  $X'_{HC}$  наблюдаемого КНС относительно ПНС по значению вектора сферических координат  $R'_{HC}$ , полученного из (3):

$$X'_{HC} = F_2[R'_{HC}] \quad (4)$$

В  $F_2$  из выражения (4) входит расстояние  $R$  между КНС и ПНС, измеренное в результате временной обработки радиосигнала КНС (здесь и далее расстояние  $R$  указано без штриха вверху в силу инвариантности к выбранной системе координат). Разумеется, это расстояние является истинным, ибо ЗРВ известно (и исключено из обработки сигналов). Определение кривизны волновой поверхности ПВС и выявление однозначного соответствия между степенью кривизны и расстоянием между ПНС и КНС эквивалентно измерению расстояния по времени задержки.

Шаг 4. Матрица  $M$  преобразования (вращения) координатных осей и последующий параллельный перенос обеспечивают получение глобальных координат  $X_{HO}$  ПНС из вектора  $X'_{HC}$ , рассчитанного по (4), при известном векторе глобальных координат  $X_{HC}$  наблюдаемого КНС. Процедура расчета проводится согласно соотношениям:

$$X_{HO} = X_{HC} - M \cdot X'_{HC} \quad (5)$$

или же в общем виде:

$$X_{HO} = F_3[X'_{HC}] \quad (6)$$

Таким образом, первая система пространственных навигационных уравнений в общем случае имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} R'_{\text{HC}} &= F_1(x) \\ X'_{\text{HC}} &= F_2[R'_{\text{HC}}] \\ X_{\text{HO}} &= F_3[X'_{\text{HC}}] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Вторая система пространственных навигационных уравнений (ЗРВ неизвестно) в работе [1] формализована в виде:

$$\left. \begin{aligned} R'_{\text{HC}_1} &= F_1(x) \\ X'_{\text{HC}_1} &= F_2[R'_{\text{HC}_1}] \\ X_{\text{HO}} &= F_3[X'_{\text{HC}_1}] \\ \hat{R}_{\text{HC}_1} &= R_{\text{HC}_1} + t_{\Delta} \cdot c \\ \hat{R}_{\text{HC}_2} &= R_{\text{HC}_2} + t_{\Delta} \cdot c \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Уравнения (8) отличается от (7) наличием двух компонент, в которые входят псевдодальности, измеренные по времени задержки радиосигнала от двух КНС. Это необходимо для определения неизвестной величины  $t_{\Delta}$ , а именно ЗРВ. Для получения же координат  $X_{\text{HO}}$  определяют пространственное положение одного (любого) из двух КНС (в (8) взят первый КНС). Выполним детализацию перечисленных новых систем и доведем их до конструктивного эффекта. Методику целесообразно разделить на два этапа:

Этап 1. Проводится определение координат  $X_{\text{HC}}$ , наблюдаемого КНС, относительно ПНС и преобразование параметров приведенных систем уравнений по фазовой поверхности ПВС СРНС. Это является сутью пространственной обработки (1) и (2) или обобщением.

Этап 2. Определяются базовые навигационные параметры (НП) ПНС, а именно, координаты  $X_{\text{HO}}$  ПНС в глобальной прямоугольной системе координат (ГПС) и системное время. Преобразование координат и дополнительные измерения, что описываются выражениями (4) и (5) или их обобщением (6), а также двумя последними выражениями уравнении (8) составляют «второй этап методики».

Таким образом, решение навигационной задачи [3] заключается в отыскании значений координат  $X_{\text{HO}}$  ПНС и системного времени (или же ЗРВ) в виде, пригодном для практического использования. Результат визуализирует именно время в системе отсчёта, например - UTC, и координаты в геодезической системе. В статье же координаты определяются в ГПС. Фактически это геоцентрическая инерциальная система координат (ГИС) [3]. Такие координаты могут быть однозначно пересчитаны из ГПС (или ГИС) в геодезическую систему по хорошо известной методике и выражениям, описанных, например, в [3, 4]. Время выражается непрерывной величиной, обозначенной одной переменной, отсчитываемой от эталонного момента в прошлом. Поэтому возможно однозначно пересчитать этот параметр в любую другую систему отсчёта.

Уточним соотношения первого этапа методики, использующиеся в процедурах измерения координат КНС относительно ПНС.

В соответствии с методикой [1], три координаты (углы  $\gamma'_{\text{HC}}$ ,  $\alpha'_{\text{HC}}$  и расстояние  $R$ , см. рис. 1) могут быть измерены в локальной сферической системе координат (ЛСС), связанной с ПНС, по обозначениям угловых координат общепринятым для описания сферических координат в векторном анализе. А именно: зенитный угол  $\gamma'_{\text{HC}}$ , отсчитываемый от оси аппликат, и азимутальный угол  $\alpha'_{\text{HC}}$ , отсчитываемый от оси абсцисс. В других работах (и в том числе в работе [1] в части, касающейся моделей пространственных сигналов) часто используются угловые координаты, связанные с зенитным и азимутальным углами. Например, угол места, отсчитываемый от плоскости



На рис. 1 схематично показаны:  $\mathbf{A}_0$  и  $\mathbf{A}_1$  - положения, соответственно, нулевого и первого антенных элементов (АЭ) ПНС;  $\mathbf{S}$  - местоположение КНС, излучающего ПВС. Для упрощения принимаем, что ПВС является гармоническим сигналом с постоянными амплитудой и начальной фазой. Начало локальной прямоугольной системы (ЛПС) координат с осями  $x', y', z'$ , совпадает с расположением  $\mathbf{A}_0$ ; все остальные АЭ (не показаны на рисунке) лежат в плоскости  $x'y'$ ;  $\rho_1, \eta_1$  - координаты первого АЭ в полярной системе координат с центром в точке  $\mathbf{A}_0$ ;  $\gamma'_{\text{НС}}, \alpha'_{\text{НС}}$ , R- координаты навигационного спутника в точке  $\mathbf{S}$  в ЛСС;  $r$  - расстояние от точки  $\mathbf{S}$  до первого АЭ, расположенного в точке  $\mathbf{A}_1$ , и отличающееся от расстояния R на величину отрезка  $|\mathbf{Q}_1\mathbf{A}_1|$ ;  $\theta_1$ : угол между отрезками длины  $r$  и R связанный с углами  $\gamma'_{\text{НС}}, \alpha'_{\text{НС}}$  и  $\eta_1$  теоремой косинусов для трёхгранного угла  $\mathbf{A}_0\mathbf{A}_1\mathbf{S}$  с вершиной в точке  $\mathbf{A}_0$ .

$$\varphi_1 = \beta \cdot |Q_1 A_1| = \beta (r - R) = \beta r_\Lambda \quad (9)$$

По теореме косинусов для плоского угла получаем выражение для вычисления  $r$  :

$$r = \sqrt{\rho_1^2 + R^2 - 2\rho_1 R \cos \theta_1} = R \cdot \sqrt{1 + \frac{\rho_1^2}{R^2} - \frac{2\rho_1}{R} \cos \theta_1} \quad (10)$$

$$r \approx R + \frac{\rho_1^2}{2R^2} - \frac{\rho_1}{R} \cos \theta_1 - \frac{\rho_1^2}{2R} \cos^2 \theta_1, \quad (11)$$
$$r_{\Delta} = r - R = \frac{\rho_1^2}{2R} - \rho_1 \cos \theta_1 - \frac{\rho_1^2}{2R} \cos^2 \theta_1 = -\rho_1 \cos \theta_1 + \frac{\rho_1^2}{2R} (1 - \cos^2 \theta_1) \quad (12)$$

Используя теорему косинусов для трёхгранного угла и учитывая, что угол  $SS'A_1$  равен  $90^0$ , так как отрезок  $SS'$  является перпендикуляром, опущенным из точки  $S$  на плоскость  $x'y'$ , определяем для угла  $\theta_1$ :

$$\cos \theta_1 = \cos(90^0 - \gamma'_{HC}) \cos(\alpha'_{HC} - \eta_1) = \sin \gamma'_{HC} \cos(\alpha'_{HC} - \eta_1). \quad (13)$$

Введём в выражение (12) углы  $\gamma'_{HC}$ ,  $\alpha'_{HC}$  и  $\eta_1$  которые могут быть измерены по волновой поверхности сигнала [1]:

$$r_\Delta = -\rho_1 \sin \gamma'_{HC} \cos(\alpha'_{HC} - \eta_1) + \frac{\rho_1^2}{2R} (1 - \sin^2 \gamma'_{HC} \cos^2(\alpha'_{HC} - \eta_1)). \quad (14)$$

Отсюда определяем значение разности фаз из (9) при квадратичной аппроксимации:

$$\varphi_1 = \beta \cdot \left[ -\rho_1 \sin \gamma'_{HC} \cos(\alpha'_{HC} - \eta_1) + \frac{\rho_1^2}{2R} (1 - \sin^2 \gamma'_{HC} \cos^2(\alpha'_{HC} - \eta_1)) \right], \quad (15)$$

и аналогично в случае линейной аппроксимации:

$$\varphi_1 = \beta \cdot [-\rho_1 \sin \gamma'_{HC} \cos(\alpha'_{HC} - \eta_1)]. \quad (16)$$

Частные выражения, позволяют рассчитать координатные значения навигационных параметров, а также найти ЗРВ -  $t_\Delta$ . Вектор-функция  $F_2$  в выражении (4) состоит из функций преобразования сферических координат в прямоугольные (декартовы) применительно к компонентам векторов  $R'_{HC} = [R_{HC}, \gamma'_{HC}, \alpha'_{HC}]^T$  в ЛСС и  $X'_{HC} = [X'_{HC}, Y'_{HC}, Z'_{HC}]^T$  в ЛПС (рис.2):

$$\left. \begin{aligned} X'_{HC} &= R \cdot \sin \gamma'_{HC} \cos \alpha'_{HC} \\ Y'_{HC} &= R \cdot \sin \gamma'_{HC} \sin \alpha'_{HC} \\ Z'_{HC} &= R \cdot \cos \gamma'_{HC} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

Зависимость (6) преобразует вектор  $X'_{HC} = [X'_{HC}, Y'_{HC}, Z'_{HC}]^T$  в вектор  $X_{HC} = [X_{HC}, Y_{HC}, Z_{HC}]^T$  координат ПНС в ГПС (рис.2). Если в общем виде записать составной оператор  $F_4$ , полученный как

$$F_4 = F_2 \cdot F_3 \quad (18)$$

то процедуру получения координат ПНС в геоцентрической системе (или в ГПС) из координат в ЛПС в самом общем виде можно записать в виде

$$X_{HO} = F_4[R'_{HC}]. \quad (19)$$

Выражение (19) представляет собой систему из трёх независимых уравнений с четырьмя неизвестными:  $X_{HO}$ ,  $Y_{HO}$ ,  $Z_{HO}$  и  $R$ .

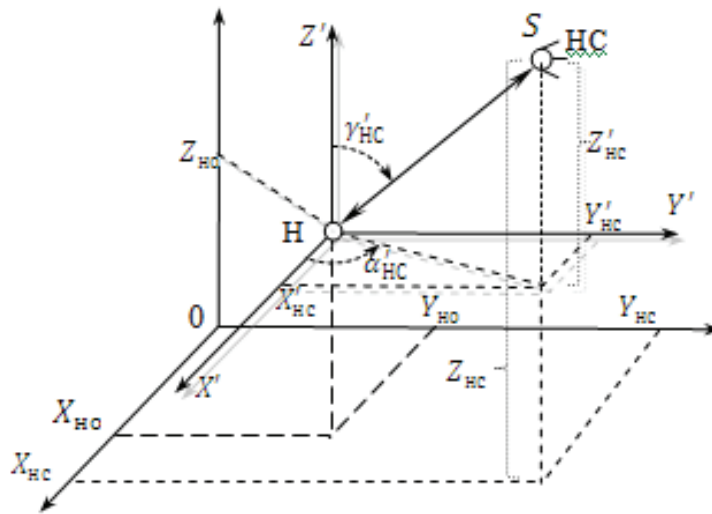


Рисунок 2 - Геометрия в двух системах координат для фиксированных позиций объектов навигации

Подразумевается, что ЗРВ СНРС и аппаратуры потребителя  $t_A$  неизвестно, следовательно, нельзя однозначно измерить расстояние  $R$  по времени задержки сигнала ЭМВ. Чтобы решить систему (19), нужно добавить четвёртое линейно независимое уравнение.

Применять известное выражение для определения расстояния между ПНС и КНС в декартовой системе координат невозможно из-за его линейной зависимости от первых трёх в (19). На рис. 2 показано взаимное расположение ЛПС (координатные оси  $X', Y', Z'$ ) и ГПС (оси  $X, Y, Z$ ), что адекватно отражает практическую ситуацию.

Очевидно, что

$$X_{HO} = X_{HC} - X'_{HC}, \quad Y_{HO} = Y_{HC} - Y'_{HC}, \quad Z_{HO} = Z_{HC} - Z'_{HC}, \quad (20)$$

где  $X_{HC}, Y_{HC}, Z_{HC}$  - координаты КНС в ГПС. Для упрощения дальнейших вычислений, в (17) введём такие обозначения:

$$\left. \begin{aligned} X'_{HC} &= R \cdot \sin \gamma'_{HC} \cos \alpha'_{HC} = RA_1 \\ Y'_{HC} &= R \cdot \sin \gamma'_{HC} \sin \alpha'_{HC} = RB_1 \\ Z'_{HC} &= R \cdot \cos \gamma'_{HC} = RC_1 \end{aligned} \right\}, \quad (21)$$

Разумеется, что  $R$  определяется как расстояние между двумя точками в трёхмерном евклидовом пространстве:

$$R = \sqrt{(X_{HO} - X_{HC})^2 + (Y_{HO} - Y_{HC})^2 + (Z_{HO} - Z_{HC})^2} \quad (22)$$

Дополним систему (19) выражением (22), преобразовав его с помощью (21). Найдём решение полученной системы, записав её в виде:

$$\left. \begin{aligned} X'^2_{HC} &= R^2 A_1^2 \\ Y'^2_{HC} &= R^2 B_1^2 \\ Z'^2_{HC} &= R^2 C_1^2 \\ R^2 &= X'^2_{HC} + Y'^2_{HC} + Z'^2_{HC} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Сложив правые части первых трёх уравнений системы (23), мы получим левую часть четвёртой зависимости:

$$R^2 = R^2 A_1^2 + R^2 B_1^2 + R^2 C_1^2. \quad (24)$$

Очевидно, что

$$A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 = 1. \quad (25)$$

Перепишем систему (23) следующим образом

$$\left. \begin{aligned} X'^2_{HC} - R^2 A_1^2 &= 0 \\ Y'^2_{HC} - R^2 B_1^2 &= 0 \\ Z'^2_{HC} - R^2 C_1^2 &= 0 \\ R^2 - X'^2_{HC} - Y'^2_{HC} - Z'^2_{HC} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

и введём матрицу вида:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -A_1^2 \\ 0 & 1 & 0 & -B_1^2 \\ 0 & 0 & 1 & -C_1^2 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

определитель которой равен нулю:

$$\Delta = 1 - A_1^2 - B_1^2 - C_1^2 = 1 - (A_1^2 + B_1^2 + C_1^2) = 0 \quad (28)$$

в соответствии с (25). Поэтому система уравнений (26) и (23) не имеет однозначного решения. Последовательно прибавляя к последней строке первую, вторую и третью, проведём элементарные преобразования для того, чтобы получить матрицу равносильной системы треугольного вида:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -A_1^2 \\ 0 & 1 & 0 & -B_1^2 \\ 0 & 0 & 1 & -C_1^2 \\ -1 & -1 & -1 & 1 - (A_1^2 + B_1^2 + C_1^2) \end{bmatrix} \quad (29)$$

Используя (25), получаем в нижней строке нули и поэтому отбрасываем её. Эквивалентная система имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} X'_{\text{НС}}^2 - R^2 A_1^2 &= 0 \\ Y'_{\text{НС}}^2 - R^2 B_1^2 &= 0 \\ Z'_{\text{НС}}^2 - R^2 C_1^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Очевидно, что система (30) эквивалентна (19), в которой есть три независимых уравнения с четырьмя неизвестными.

Для решения системы (19) при известном ЗРВ используется значение  $R$ , измеренное по времени задержки распространения ЭМВ от КНС к ПНС.

В работе [1] показано, что теоретически, используя кривизну волновой поверхности ПВС, можно найти расстояние  $R$ , применяя выражение (15) в (2). Однако эта задача представляется практически крайне сложно реализуемой из-за малой величины второго слагаемого в (15) и, как следствие, недопустимо большой ошибки измерения  $R$  по кривизне волновой поверхности. Эта ошибка к тому же зависит от самого значения  $R$ .

Если только будет найден практически применимый способ устранения указанных существенных ограничений, можно будет отказаться от использования измерения  $R$  по времени задержки, уменьшив в итоге зависимость алгоритмов измерения НП от минимального числа КНС.

Если же ЗРВ неизвестно, то, согласно методике, требуются измерения псевдодальностей по времени задержки радиосигналов от двух спутников СРНС. Для расчёта всех неизвестных в (19) добавляют ещё одно независимое уравнение для вычисления новой появившейся переменной, а именно ЗРВ  $t_\Delta$ , определяемое как разница между временем приёмника потребителя (или ПНС) и системным временем СРНС [2]. Таким образом, развивая результаты работы [1], запишем методику в более общем виде при условии, когда ЗРВ системных часов СРНС и ПНС равно нулю:

$$R'_{\text{НС}} = F_1(x), \quad X_{\text{НО}} = F_4[R'_{\text{НС}}]. \quad (31)$$

Добавим выражения псевдодальностей для случая, когда  $t_\Delta$  неизвестно:

$$\left. \begin{aligned} R'_{\text{НС}} &= F_1(x), \quad X_{\text{НО}} = F_4[R'_{\text{НС}}] \\ \hat{R}_1 &= \sqrt{(X_{\text{НО}} - X_{\text{НС}_1})^2 + (Y_{\text{НО}} - Y_{\text{НС}_1})^2 + (Z_{\text{НО}} - Z_{\text{НС}_1})^2} + c \cdot t_\Delta \\ \hat{R}_2 &= \sqrt{(X_{\text{НО}} - X_{\text{НС}_2})^2 + (Y_{\text{НО}} - Y_{\text{НС}_2})^2 + (Z_{\text{НО}} - Z_{\text{НС}_2})^2} + c \cdot t_\Delta \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

где  $c$  - скорость света,  $\hat{R}_1$  и  $\hat{R}_2$  - оценочные дальности (псевдодальности), измеренные по времени задержки распространения радиосигнала от первого и второго НС СРНС соответственно. В (32) и далее мы используем явное указание на первый и второй КНС СРНС, путём добавления подстрочного индекса (НС<sub>1</sub> или НС<sub>2</sub>).

Получим аналитические выражения для расстояния от ПНС до первого КНС из системы уравнений, входящей в (32). Перепишем (32) в виде:

$$\left. \begin{aligned} X_{HO} &= F_4[R'_{HC_1}] \\ R_1 &= \hat{R}_1 - c \cdot t_\Delta \\ R_2 &= \hat{R}_2 - c \cdot t_\Delta \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

где точные неизвестные расстояния от ПНС до первого и второго КНС определяются как

$$R_k = \sqrt{(X_{HO} - X_{HCk})^2 + (Y_{HO} - Y_{HCk})^2 + (Z_{HO} - Z_{HCk})^2} \quad (34)$$

Здесь  $k = 1, 2$ ;  $R'_{HC_1} = [R_1, \gamma'_{HC_1}, \alpha'_{HC_1}]^T$  - вектор координат первого КНС в ЛСС,  $t_\Delta$  - неизвестное ЗРВ между системными часами СРНС и ПНС. Выразим  $t_\Delta$  и  $R_1$  через  $R_2$  используя второе и третье уравнения системы (33):

$$R_1 = \hat{R}_1 - c \cdot (\hat{R}_2 - R_2) / c, \quad t_\Delta = (\hat{R}_2 - R_2) / c. \quad (35)$$

Следовательно,

$$R_1 = \hat{R}_1 - \hat{R}_2 + R_2. \quad (36)$$

Преобразуем  $R_2$  в выражении (36), используя (21) и (34). Для упрощения вычислений, введём некоторые обозначения, используя (22) и (23):

$$\left. \begin{aligned} D_x &\equiv X_{HC_1} - X_{HC_2}, D_y \equiv Y_{HC_1} - Y_{HC_2}, D_z \equiv Z_{HC_1} - Z_{HC_2} \\ \hat{R} &= \hat{R}_1 - \hat{R}_2 \\ X_{HO} - X_{HC_2} &= X_{HC_1} - R_1 A_1 - X_{HC_2} \equiv D_x - R_1 A_1 \\ Y_{HO} - Y_{HC_2} &= Y_{HC_1} - R_1 B_1 - Y_{HC_2} \equiv D_y - R_1 B_1 \\ Z_{HO} - Z_{HC_2} &= Z_{HC_1} - R_1 C_1 - Z_{HC_2} \equiv D_z - R_1 C_1 \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

При этом из (36) выразим  $R_2$  в виде

$$R_2 = R_1 - \hat{R}, \quad (38)$$

а с другой стороны

$$R_2 = \sqrt{(D_x - R_1 A_1)^2 + (D_y - R_1 B_1)^2 + (D_z - R_1 C_1)^2}. \quad (39)$$

Возведём в квадрат обе части выражений (38) и (39) и, после несложных преобразований, получим:

$$R_2^2 = D_x^2 + D_y^2 + D_z^2 - 2R_1(D_x A_1 + D_y B_1 + D_z C_1) + R_1^2(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2). \quad (40)$$

В эквивалентном виде имеем:

$$R_2^2 = (R_1 - \hat{R})^2 = R_1^2 - 2R_1 \hat{R} + \hat{R}^2. \quad (41)$$

Приравнявая (40) и (41), раскрывая скобки, приведя подобные члены и учитывая (25), получим:

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(D_x^2 + D_y^2 + D_z^2) - \hat{R}^2}{(D_x A_1 + D_y B_1 + D_z C_1) - \hat{R}} \quad (42)$$

Запишем (42) в более компактном виде, введя следующие обозначение

$R_{12}^2 \equiv D_x^2 + D_y^2 + D_z^2$  - квадрат расстояния между первым и вторым КНС,

$D_x A_1 + D_y B_1 + D_z C_1 = X_{12}^T A_1$ ,  $X_{12} = X_1 - X_2 = [X_{HC_1}, Y_{HC_1}, Z_{HC_1}]^T - [X_{HC_2}, Y_{HC_2}, Z_{HC_2}]^T$ ,

$A_1 = [A_1 + B_1 + C_1]^T$ .

Выражение (42) тогда примет вид:

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{12}^2 - \hat{R}^2}{X_{12}^T A_1 - \hat{R}} \quad (43)$$

Таким образом, точное расстояние между ПНС и первым из двух КНС, которые участвуют в измерениях, можно найти, измерив псевдодальности до двух КНС, получив угловые координаты

$\alpha'_{\text{НС}}$  и  $\gamma'_{\text{НС}}$  (используя методику [1]) и координаты двух КНС в ГПС (из навигационных сообщений, содержащихся в составе спутниковых навигационных радиосигналов [4]). Используя (21) и затем (20), можно легко найти координаты ПНС в ГПС. Системное время (или ЗРВ -  $t_{\Delta}$ ) можно найти, используя второе уравнение в системе (33).

В (33) и (22) подразумевалось, что направления координатных осей ГПС и ЛПС совпадают. В более общем случае

$$X_{\text{НО}} = X_{\text{НС}_1} - M \cdot X'_{\text{НС}_1}, \quad (44)$$

где  $M$  - матрица преобразований (матрица направляющих косинусов или матрица вращения [6]):

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad (45)$$

где коэффициенты  $a_{ik}$  есть косинусы углов между направлениями осей координат ЛПС и ГПС;  $k_i = 1 \dots 3$  - номера координатных осей, соответственно локальной и глобальной координатных систем.

Любой произвольный поворот системы координат полностью определяется заданием углов Эйлера  $\alpha, \beta, \gamma$  [7], называемыми углами прецессии, нутации и собственного вращения соответственно (рис.3).

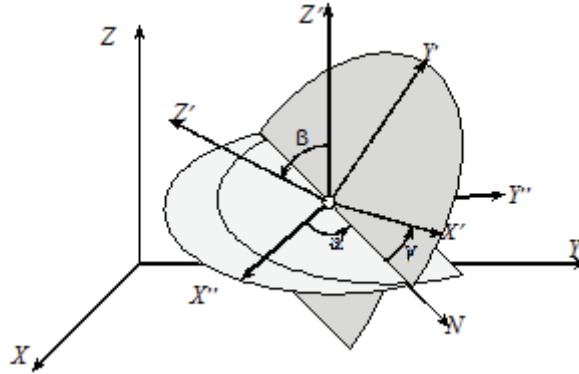


Рисунок 3 - Повороты систем координат

Найдём координаты вектора  $X'_{\text{НС}_1}$  в прямоугольной системе координат  $X''Y''Z''$ , оси которой параллельны ГПС, а начало координат совпадает с ЛПС, построив матрицы трёх поворотов, которые последовательно преобразуют координаты вектора  $X'_{\text{НС}_1}$  в вектор  $X''_{\text{НС}_1}$ :

$$X'_{\text{НС}_1} \rightarrow X^1_{\text{НС}_1} = M_{\alpha} X'_{\text{НС}_1} \rightarrow X^2_{\text{НС}_1} = M_{\beta} X^1_{\text{НС}_1} \rightarrow X''_{\text{НС}_1} = M_{\gamma} X^2_{\text{НС}_1}, \quad (46)$$

где  $X^1_{\text{НС}_1}$  и  $X^2_{\text{НС}_1}$  - промежуточные вектора после поворотов на углы  $\alpha$  и  $\beta$ , а матрицы  $M_{\alpha}, M_{\beta}, M_{\gamma}$  имеют вид:

$$M_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, M_{\beta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}, M_{\gamma} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (47)$$

Тогда матрица вращения  $M = M_{\alpha} M_{\beta} M_{\gamma}$  примет вид:

$$M = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \alpha - \sin \gamma \cos \beta \sin \alpha & -\cos \gamma \sin \alpha - \sin \gamma \cos \beta \cos \alpha & \sin \gamma \sin \beta \\ \sin \gamma \cos \alpha + \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha & -\sin \gamma \sin \alpha + \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha & -\cos \gamma \sin \beta \\ \sin \beta \sin \alpha & \sin \beta \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}. \quad (48)$$

Вектор  $X''_{\text{НС}_1}$  в системе координат  $X''Y''Z''$  (рис. 3) найдём как произведение исходного вектора  $X'_{\text{НС}_1}$  на матрицу  $M$ :

$$X''_{\text{HC}_1} = M \cdot X'_{\text{HC}_1} \quad (49)$$

Учитывая (46) и (49), перепишем (44):

$$X_{\text{HO}} = X_{\text{HC}_1} - X''_{\text{HC}_1} \quad (50)$$

Нахождение самих углов Эйлера или ориентации локальной системы ПНС выходит за рамки настоящей статьи. Отметим лишь, что ориентацию локальной системы ПНС относительно глобальной системы можно определить способами, описанными, например, в [1], а также с помощью других вспомогательных устройств, таких, как гироскопы и акселерометры.

Подводя итог, сведем в систему все полученные уравнения, необходимые для решения поставленной навигационной задачи, которая заключается в отыскании значений координат  $X_{\text{HO}}$  ПНС и системного времени (или же ЗРВ -  $t_{\Delta}$ ):

$$\left. \begin{aligned} R'_{\text{HC}_1} &= F_1(x) \\ R_1 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{12}^2 - \hat{R}^2}{X_{12}^T A_1 - \hat{R}} \\ t_{\Delta} &= (\hat{R}_2 - R_2) / c \\ X_{\text{HO}} &= X_{\text{HC}_1} - X''_{\text{HC}_1} \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

Таким образом, в случае известного ЗРВ для нахождения координат ПНС используется (31). Когда же ЗРВ - неизвестно, применяются выражения (51). В этом случае, в отличие от первого, потребуется произвести измерения псевдодальностей для двух КНС.

#### **Выводы.**

1. Если значение рассогласования времени – ЗРВ известно, то система пространственных навигационных уравнений (7) имеет решение. Тогда возможно измерение координат ПНС и их производных (составляющих скоростей) по пространственно-временному сигналу единственного КНС. Навигационная задача может быть решена, для чего требуется лишь последовательно решать уравнения (7) и находить производные по времени от координат местоположения в пространстве.

2. Если же ЗРВ неизвестно, то требуется одновременный приём и обработка сигналов от двух КНС. Методика в общем виде определена уравнениями (8), а также (51).

3. Достаточно иметь два антенных элемента – АЭ (что согласуется с пунктом 2) для измерения всех навигационных параметров по волновой поверхности пространственно-временного сигнала от КНС СРНС. Качество измерений гарантировано повышается с увеличением числа АЭ.

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК**

1. Шарко В.П. Методика определения навигационных параметров движущихся объектов по волновому фронту сигналов радионавигационных систем. /Шарко В.П.// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Киев, 2012.–150 с.
2. Фриз П.В. Основи орбітального руху космічних апаратів: підручник / П.В.Фриз // - Житомир: ЖВНАУ, 2012. – 348 с.
3. Гофман-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика. / Б. Гофман-Велленгоф // К.: Наукова думка, 1996. – 393 с.
4. Бакитько Р.В. ГЛОНАСС Принципы построения и функционирования. / Р.В. Бакитько, А.И. Перов., В.Н. Харисов // М.: Радиотехника, 2010. –688 с.
5. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов. / И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.А. Петров и др. // М.: Радио и связь, 1984. – 219 с.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. / И.В. Савельев // М.: 1970. – 517 с.
7. Ильин В.А. Аналитическая геометрия. Учебник для вузов./В.А.Ильин, Э.Г.Позняк// М.: Физматлит, 2004. – 224 с.

## REFERENCES

1. Sharko V.P. Metodika opredeleniya navigatsionnykh parametrov dvizhuschihsya ob'ektov po volnovomu frontu signalov radionavigatsionnykh sistem. /Sharko V.P.// Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, Kiev, 2012.–150 s.
2. Fryz P.V. Osnovy orbital'noho rukhu kosmichnykh apparativ: pidruchnyk / P.V.Fryz // - Zhytomyr: ZhVNAU, 2012. – 348 s.
3. Hofman-Vellenhof B. Hlobal'na systema vyznachennya mistsepolozhennya (GPS): Teoriya i praktyka. / B. Hofman-Vellenhof // K.: Naukova dumka, 1996. – 393 s.
4. Bakitko R.V. GLONASS Printsipyi postroeniya i funktsionirovaniya. / R.V. Bakitko, A.I Perov., V.N. Harisov // M.: Radiotekhnika, 2010. –688 s.
5. Kremer I.Ya. Prostranstvenno-vremennaya obrabotka signalov. / I.Ya. Kremer, A.I. Kremer, V.A. Petrov i dr. // M.: Radio i svyaz, 1984. – 219 s.
6. Savelev I.V. Kurs obshchey fiziki. Tom 1. Mehanika, kolebaniya i volnyi, molekulyarnaya fizika. / I.V. Savelev // M.: 1970. – 517 s.
7. Ilin V.A. Analiticheskaya geometriya. Uchebnik dlya vuzov./V.A.Ilin, E.G.Poznyak// M.: Fizmatlit, 2004. – 224 s.

## РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Навигация на основе знаний волновой поверхности пространственно-временных сигналов спутниковых радионавигационных систем/ Г.Л. Баранов, А.В. Цулая, В.П. Шарко, О.Г. Паршин // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте . - К: НТУ -2016. - Вып. 4.

Статья посвящена принципам измерения координат местоположения подвижного бортового приемника навигационных сигналов от группировки спутников глобальной радионавигации типа GPS, GLONASS, Galileo. Рассмотрены случаи известного существования на планете локальных зон, где для области приема сигналов нет необходимого уровня покрытия.

Объект исследования – процессы пространственно-временной обработки спутниковых радионавигационных сигналов для гарантирования безопасности движения транспорта в локальных критических зонах. Цель работы - модели, методы, информационные технологии решения навигационной задачи. Предложен способ решения новой системы навигационных уравнений, где используются данные о волновой поверхности пространственно-временного сигнала навигационного спутника. Гарантируется получение навигационных параметров местоположения наземного приемника по сигналу только от одного или двух навигационных спутников.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** КОСМИЧЕСКИЙ НАВИГАЦИОННЫЙ СПУТНИК, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ, РИСКИ, НАВИГАЦИОННЫЕ СИГНАЛЫ, ВОЛНЫ, ПРИЕМНИК, КООРДИНАТЫ.

## ABSTRACT

Baranov G.L. Navigation on the basis of knowledge wave surface space-time signals of satellite navigation systems/ G.L. Baranov, A.V. Tsulaya, V.P. Sharko, O.G. Parshin// Information processes, technologies and systems on transport- K.: NTU - 2016. - Vol. 4.

The article is devoted to the principles of the measurement position coordinates of the movable airborne receiver navigation signals from a constellation of satellites global like GPS navigation, GLONASS, Galileo. The cases of the known existence on the planet local zones, where the field of signal reception is not required coverage level.

Object of research - process of space-time processing of satellite radio navigation signals to ensure traffic safety in local critical areas. Objective - models, methods, information technologies of navigation. The method of solving the system of the navigation equations is examined. The data about the wave surface of the time-spatial signal of navigation satellite are used. The original equation of navigation parameters allows measuring on the signal only one or two navigation satellites.

**KEYWORDS:** THE SPACE NAVIGATION SATELLITE, POSITIONING, RISKS, THE NAVIGATION SIGNALS, WAVE, RECEIVER, COORDINATES.

## РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Навігація на основі знань хвильової поверхні просторово-часових сигналів супутникових радіонавігаційних систем/ Г.Л. Баранов, А.В. Цулая, В.П. Шарко, О.Г. Паршин // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Науково-технічний журнал НТУ. – К.: 2016. - Вип. 4.



Стаття присвячена принципам вимірювання координат місцеположення рухомого бортового приймача навігаційних сигналів від угруповання супутників глобальної радіонавігації типу GPS, GLONASS, Galileo. Розглянуто випадки відомого існування на планеті локальних зон, де для області прийому сигналів немає необхідного рівня покриття.

Об'єкт дослідження - процеси просторово-часової обробки супутникових радіонавігаційних сигналів для гарантування безпеки руху транспорту в локальних критичних зонах. Мета роботи - моделі, методи, інформаційні технології вирішення навігаційного завдання. Запропоновано спосіб розв'язку нової системи навігаційних рівнянь, в яких використовуються дані про хвильову поверхню просторово-часового сигналу навігаційного супутника. Гарантується отримання навігаційних параметрів місцезнаходження наземного приймача для сигналів лише від одного або двох навігаційних супутників.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КОСМІЧНИЙ НАВІГАЦІЙНИЙ СУПУТНИК, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, РИЗИКИ, НАВІГАЦІЙНІ СИГНАЛИ, ХВИЛІ, ПРИЙМАЧ, КООРДИНАТИ.

#### АВТОРИ:

Баранов Георгій Леонідович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, тел. +380964882963, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.347а.

Цулая Анатолій Важович, кандидат фізико-математичних наук, Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Україна, м. Київ, 03150, вул. Дмитрова, 5.

Шарко Вадим Павлович, кандидат технічних наук, Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Україна, м. Київ, 03150, вул. Дмитрова, 5.

Паршин Олег Георгійович, Державне підприємство «Центральний НДІ навігації та управління», Україна, м. Київ, 03150, вул. Дмитрова, 5.

#### AUTHORS:

Baranov Georgiy L., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, tel. +380964882963, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, r. 347a.

Tsulaya Anatolij V., Ph.D., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine, 03150, Kyiv, Dimitrova str. 5.

Sharko Vadim P., Ph.D., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine, 03150, Kyiv, Dimitrova str. 5.

Parshin Oleg G., State Enterprise "Central Research Institute of Navigation and Control", Ukraine, 03150, Kyiv, Dimitrova str. 5.

#### АВТОРЫ:

Баранов Георгий Леонидович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, тел. +380964882963, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.347а.

Цулая Анатолий Важевич, кандидат физико-математических наук, Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина, 03150, г. Киев, ул. Дмитрова, 5.

Шарко Вадим Павлович, кандидат технических наук, Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина, 03150, г. Киев, ул. Дмитрова, 5.

Паршин Олег Георгиевич, Государственное предприятие «Центральный НИИ навигации и управления», Украина, 03150, г. Киев, ул. Дмитрова, 5.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Хорошко В.О. доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет.

Ващенко В.М., доктор фізико-математичних наук, Навчально-науковий інститут екологічного моніторингу та інноваційних технологій, директор, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Khoroshko V.O., Doctor of Technical Science, Professor, National Aviation University.

Vaschenko V.M., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Educational and Research Institute for Environmental Monitoring and innovative technologies, Director, Kyiv, Ukraine.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕРМІНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ  
СИСТЕМОЛОГІЇ (ЧАСТИНА 1)

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ,  
Україна

PROPOSALS TO IMPROVE THE SYSTEMOLOGY OF TRANSPORT SYSTEM TERMINOLOGY  
(PART 1)

Petrashevsky O.L., doctor of technical sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЛОГИИ (ЧАСТЬ 1)

Петрашевский О.Л., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,  
Украина

**Постановка проблеми.** Основний масив термінів і визначень в області транспортного системного аналізу створювався в 60 – 70-х роках минулого століття. Зараз 20-і роки ХХІ століття, за цей проміжок часу значний розвиток одержала транспортна наука й практика. З'явилися нові напрямки, змінилася парадигма видів транспорту. Все це викликає необхідність перегляду термінологічної системи, пов'язаної з теоретичними та емпіричними дослідженнями в сфері транспорту. Але перед конкретизацією термінів для видів транспорту (авіаційний, автомобільний, залізничний, морський, річковий транспорт і автомобільні дороги) необхідно частину термінів, які застосовуються в цей час, у державному масштабі, переглянути, частину доповнити, а якісь вперше надати для обговорення транспортної наукової спільноти. Оскільки проблема дуже широка й багаторівнева, термінів багато, тому результати будуть представлені частинами для обговорення. Необхідні конструктивні зауваження й пропозиції від вчених, що активно працюють в області транспортних систем для розробки загальнозживаного словника термінів і визначень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відразу визначимося з терміном «системологія» у назві статті. До трудомісткої роботи зі складання термінологічної системи, у свій час, мали відношення такі відомі вчені транспортної науки, як Воркут А.І., Черненко Ж.С., Бабков В.Ф., Сильянов В.В. й інші. У цей період термін «системний аналіз» був в усіх на слуху й це незважаючи на те, що переклад з англійського терміну був зроблений не правильно. Не системний аналіз, а аналіз систем. Потім настало деяке «протверезіння» відносно методів системного аналізу. Це було пов'язане з тим, що незважаючи на обґрунтовані висновки Л. фон Берталанффі, Сетрова Н.І., Богданова А.А., Д. фон Неймана, Н. Виннера [1-4] про неможливість використовувати диференціальні й інтегральні рівняння як математичний апарат, для опису складних «великих» систем, до яких відносяться звичайно і транспортні системи, не однократно не вийшов прийнятний результат. Тобто весь аналіз транспортних систем і спроби їх синтезу зводилися до завдань масового обслуговування й/або статистичного аналізу "методом Монте-Карло". Застосування даних методик і використання диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмана на початкових етапах досліджень транспортних систем приводило до деяких позитивних результатів, але потім стало ясно, що системний аналіз, як класичний підхід, не дає позитивних результатів. Тому, починаючи з кінця 80-х років перестали акцентувати увагу на термінах «системний аналіз», «системний похід». Тим більше, що в цей час, почали розвиватися методи керування в складних системах, зокрема метод ситуаційного керування, автором якого був Поспелов Д.А., з використанням логіко-лінгвістичних моделей [5]. Зараз інтенсивно розвивається процесний підхід у складних системах керування, хоча й тут слід уточнювати цей термін. Однієї з деяких робіт по відновленню застосування системного підходу на сучасній платформі з'явилася робота Бахура А.Б. [6], де він звернув особливу увагу на інтегративно-функціональний аспект дослідження складних систем. Хоча і його роботи часто обмежувалися проблемами чистого аналізу систем. Про синтез особливо не було сказано [6], а це не правильно, тому що аналіз систем повинен приводити до їхнього синтезу. Значний розділ досліджень повністю опускається, якщо ми застосовуємо термін «системний аналіз» – а синтез де?

На погляд автора даної статті на заміну терміну «системний аналіз» слід застосовувати термін «системологія» [7]. Перша частина терміну визначає область дослідження, друга, як широко відомо, підкреслює науку (на грец. мові «логос» – слово, навчання, поняття – наука про системи). У рамках цієї науки укладається й парадигма, і концепція й проблематика дослідження складних систем, у тому числі, транспортних. Але нові методологічні передумови вимагають перегляду дійсної термінологічної системи, щось треба уточнити, щось переглянути й дати нові визначення, а щось і вперше сформулювати відносно термінів і їх понять. У межах цієї статті не можливо розкрити сучасну системність термінології аналізу й синтезу складних транспортних систем, створення методології, методів, методик і технологій, побудови моделей, обліку ризиків різного роду, і багато чого іншого.

Поставимо завдання дати ряд основних термінів і їх визначень. Деякі з них уже афішувалися в більш ранніх роботах автора [8, 9] і його співавторів [10, 11], деякі, після проведеної оцінки прийняті в загальновідомому формулюванні, деякі приводяться вперше. Проблему починати вирішувати потрібно з терміну «системологія транспорту». Запропонуємо таке визначення цьому терміну.

**Визначення 1.** Системологія транспорту (СЛТ) – науковий напрямок, що охоплює область теоретичних знань, методологічні передумови досліджень, методи ідентифікації й структурного конструювання, методики проектного моделювання й оцінки ефективності, прикладні технології функціонування, експлуатації й модернізації складних транспортних систем.

Подібне трактування містить у собі практично всю семантику понять, яку вкладають дослідники даної галузі знань на різних етапах становлення цієї науки, що носить теоретичний і емпіричний характер, рис.1. [7].



Рис.1. Синонімічна відповідність назв наукових дисциплін системології транспорту

Термінологічний ряд продовжить термін «транспортна доставка». Цей термін, на наш погляд, більш реально відображає процеси, що відбуваються в системах де транспорт здійснює конкретне інфраструктурне завдання. З погляду відправника, одержувача, і/або власника вантажу, ці суб'єкти можуть бути не однією і тією самою юридичною або фізичною особою, більш важливим є факт своєчасної й економічної доставки вантажів (партії вантажів) з пункту А в пункт В, тобто класичне завдання логістики. Багато в чому, цей же аспект (доставка) стосується й пасажирів або пасажирів разом з вантажем. Даний факт обумовлений появою в цей час багатьох супутніх об'єктів, проміжних при транспортуванні вантажів з А в В. Це й наявність мультимодальності у використанні рухомих транспортних засобів, присутність таких допоміжних і не дуже об'єктів, як склади різного роду (митні, ліцензійні, звичайні, склади проміжного зберігання та ін.), термінали (перевалки вантажів, розподільні, стикувальні та ін.), пункти (майданчики) очікування для транспортних засобів, сортувальні гірки й місця формування поїздів, під'їзні колії до митних і прикордонних служб, морським портам і багато чого іншого. Принаймні, більшість із цих об'єктів враховуються при складанні планів доставки вантажів, отже, вони повинні брати участь у сценаріях ( від А до В). Виходячи зі сказаного пропонується визначення терміну «доставка вантажів» трактувати в такий спосіб [12].

**Визначення 2.** Доставка вантажу (ДВ) – називається цілеспрямована зміна просторового положення вантажу, упорядковане за часом, як результат діяльності окремих або паралельних систем.

Як правило, планування доставки вантажу здійснюється попереднім складанням сценарію ДВ за нормативними документами або евристично, виходячи з достатнього досвіду особи яка складає сценарій (експедитор, диспетчер, логіст і ін.).

**Визначення 3.** Сценарій доставки вантажу (СДВ) – це варіант можливої реалізації гіпотетичної логічної послідовності ситуацій процесу доставки вантажу у вигляді декларативно-графічного опису, складений евристичним методом на основі експертної оцінки.

Особливо слід сказати, що СДВ не є функцією часу, тобто послідовність ситуацій не покладена на вісь часу. При прогнозуванні тимчасових характеристик ситуацій СДВ вона перетворюється в планову реалізацію процесу доставки вантажів (план – графік).

**Визначення 4.** Процес доставки вантажів (ПДВ) – послідовність дій яка спрямована на задоволення заявки відправника вантажу й переміщення вантажу в часі й просторі.

**Визначення 5.** Планова реалізація ПДВ (ПлРПДВ) – затверджений план-графік ПДВ у вигляді планової послідовності ситуацій, із вказівкою часових інтервалів між ними.

Аналіз фактичних реалізацій ПДВ показав, що вони за своєю природою унікальні – немає двох реалізацій процесу доставки вантажу, які повторили б в точності один одного.

**Визначення 6.** Фактична реалізація ПДВ (ФРПДВ) – це реальний графік доставки вантажу, який повинен бути максимально наближений до план-графіку ПДВ за умови відсутності проблемних ситуацій за даними інформаційного моніторингу.

**Визначення 7.** Заявка на доставку вантажу (ЗДВ) – документ, який пропонує транспортній фірмі (логістичної організації) здійснити доставку вантажу обсягом V з пункту А в пункт В і гарантує відповідну оплату робіт та додаткові (інші) послуги з доставки вантажів.

**Висновки.** На прикладі семи термінів показана дослідницька робота з формування термінологічної послідовності системології транспорту. Робота за обсягом досить значна й вона вимагає досконального знання процесуальної специфіки доставки вантажу на всіх видах транспорту без винятку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Интеграция средств спутниковой навигации и телекоммуникации в задачах мониторинга мобильных объектов / [Агафонов Н.Б., Бедрин И.Б., Д.И. Моисеенко, Писарев А.С.]. Научно-технический журнал «Наукоемкие технологии». 5, 2003.
2. Пржибыл П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М.Свитек. – Прага-Москва, 2004.– 540 с.
3. Ericsson K.A., Lehnmann A.C. Expert and Exceptional Performance: Edvice of Maximal Adaptation to Task Constraints // Annual Review of Psychology.– 1996.– Vol. 47. – P.273 – 305.
4. Кочин Д.Ю. Системы неявного обучения экспертными знаниями / Д.Ю. Кочин, О.К. Подлипский – Штучний інтелект. 2, 2004, С. 305–309.
5. Алексеев В.О. Пространственно-временная ориентация АТС в АСУД / А.Г. Гурко – Сб. науч.тр. – Харьков: ХИПБ.
6. Бакенов С.Г. Интеллектуальная система прогноза посадки самолета и оценки ее реализуемости, Штучний інтелект. 4, 2004, С. 253–263.
7. Злобин К.А. Опыт внедрения системы управления безопасностью на предприятиях морского и речного транспорта Украины. Доклад на НТК, Львів, 2006.
8. Макаренко В.Н., Система дистанционного мониторинга железнодорожных поездов / В.Н. Макаренко, С.И. Бондарь, Г.Р. Гамбарян, И.Н. Бандура. “Удаленный “Вид”.
9. Петрашевський О.Л., Редзюк А.М., Корбут В.В., Работнев В.Г. “Структура системы управления обеспечением безопасности на транспорте” Збірник доповідей 7-ї міжнародної науково-практичної конференції "Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики" Київ, 2005р.
10. Петрашевський О.Л., “Отображение контура управления обеспечением безопасности движения автомобильного транспорта на уровне декларативно-графического описания” / О.Л. Петрашевський, А.М. Редзюк, А.В. Алексеенко: Збірник доповідей 8-ї міжнародної науково-практичної конференції "Ринок послуг комплексных транспортных систем та прикладні проблеми логістики" Київ, 2006 р.
11. Говорущенко Н.Я., Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. // В двух частях. Часть 2. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 219 с.
12. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; Под ред. Е.С. Кузнецова.–3-е изд., перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1991.– 413 с.
13. Петрашевський О.Л., Редзюк А.М. Эпистемологические уровни построения проектных моделей организационно-технических систем. Збірник доповідей 5-ї міжнародної науково-практичної конференції "Ринок послуг комплексных транспортных систем та прикладні проблеми логістики" Київ, 2003р.

14. Гузенко Н.В., Алексеенко А.В. Уровни построения логико-лингвистических моделей транспортных организационно-технических систем. Збірник доповідей 5-ї міжнародної науково-практичної конференції "Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики" Київ, 2003р.

#### REFERENCES

1. Integratsiya sredstv sputnikovoy navigatsii i telekommunikatsii v zadachah monitoringa mobilnykh ob'ektov / [Agafonov N.B., Bedrin I.B., D.I. Moiseenko, Pisarev A.S.]. Nauchno-tehnicheskii zhurnal «Naukoemkie tehnologii». 5, 2003.
2. P. Przhibyl Telematika na transporte / P. Przhibyl, M.Svitek. – Praga-Moskva, 2004.–540 s.
3. Ericsson K.A., Lehnmann A.C. Expert and Exceptional Performance: Edvice of Maximal Adaptation to Task Constraints // Annual Review of Psychology.– 1996.– Vol. 47. – P.273 – 305.
4. Kochin D.Yu., Sistemyi neyavnogo obucheniya ekspertnyimi znaniyami / D.Yu. Kochin, O.K. Podlipskiy – Shtuchniy Intelkt. 2, 2004, S. 305–309.
5. Alekseev V.O. Prostranstvenno-vremennaya orientatsiya ATS v ASUD / A.G. Gurko – Sb. nauch.tr. – Harkov: HIPB.
6. Bakenov S.G. Intelktualnaya sistema prognoza posadki samoleta i otsenki ee realizuemosti, Shtuchniy Intelkt. 4, 2004, S. 253–263.
7. Zlobin K.A. Opyit vnedreniya sistemyi upravleniya bezopasnostyu na predpriyatiyah morskogo i rechnogo transporta Ukrainyi. Doklad na NTK, LvIv, 2006.
8. Makarenko V.N. Sistema distantsionnogo monitoringa zheleznodorozhnykh poezdov / V.N. Makarenko, S.I. Bondar, G.R. Gambaryan, I.N. Bandura. “Udalennyiy “Vid””
9. O.L. Petrashevskiy, A.M. Redzyuk, V.V. Korbut, V.G. Rabotnev “Struktura sistemyi upravleniya obespecheniem bezopasnosti na transporte” Zbirnyk dopovidey 7-yi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky" Kyiv, 2005r.
10. Petrashevskiy O.L., “Otobrazhenie kontura upravleniya obespecheniem bezopasnosti dvizheniya avtomobilnogo transporta na urovne deklarativno-graficheskogo opisaniya” / O.L. Petrashevskiy, A.M. Redzyuk, A.V. Alekseenko: Zbirnyk dopovidey 8-yi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky" Kyiv, 2006 r.
11. Govoruschenko N.Ya., Sistemotekhnika transporta (na primere avtomobilnogo transporta) / Govoruschenko N.Ya., Turenko A.N. // V dvuh chastyah. Chast 2. – Harkov: RIO HGADTU, 1998. – 219 s.
12. Tehnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: Uchebnik dlya vuzov / E.S. Kuznetsov, V.P. Voronov, A.P. Boldin i dr.; Pod red. E.S. Kuznetsova.–3-e izd., pererab. i dop.– M.: Transport, 1991.– 413 s.
13. Petrashevskiy O.L., Redzyuk A.M. Epistemologicheskie urovni postroeniya proektnykh modeley organizatsionno-tehnicheskikh sistem. ZbIrnik dopovIdey 5-Yi mIzhnاردnoYi naukovo-praktichnoYi konferentsIYi "Rinok posluh kompleksnih transportnih sistem ta prikladni problemi logIstiki" KiYiv, 2003.
14. Guzenko N.V., Alekseenko A.V. Urovni postroeniya logiko-lingvisticheskikh modeley transportnykh organizatsionno-tehnicheskikh sistem. Zbirnyk dopovidey 5-yi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky" Kyiv, 2003 r.

#### РЕФЕРАТ

Петрашевський О.Л. Пропозиції щодо вдосконалення термінологічної системи транспортної системології (частина 1) / О.Л. Петрашевський // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті – К. : НТУ – 2016. Вип. 4.

Термінологія транспортних систем і процесів створювалася більше 30 років тому. В даний час розроблені нові концепції, з'явилися сучасні розділи системології транспорту. Тому необхідно частину термінів і їх визначень переробити, а частину сформулювати заново. Робота важка, слід залучати наукових фахівців в різних областях. Обсяг термінів і визначень досить значний, тому всі результати розбиті на 3-5 частин і вони будуть друкуватися під однією назвою, але з зазначенням розділів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СИСТЕМОЛОГІЯ ТРАНСПОРТУ, ДОСТАВКА ВАНТАЖУ, СЦЕНАРІЙ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ, ПРОЦЕС ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

#### ABSTRACT

Petrashovsky O.L. Proposals to improve the systemology of transport system terminology (part 1) / O.L. Petrashevsky//Information processes, technologies and systems to transport. - K.: NTU - 2016 – Vol. 4.

Transport systems terminology and processes was created over 30 years ago. Currently, developed new concepts, there were modern sections of transport systemology. Therefore it is necessary part of the terms and their definitions to process and formulate a part again. The work is difficult, it is necessary to involve the scientific experts in different sphere of activity. The volume of terms and definitions is very significant, so all results are divided into 3-5 pieces and they will be published under the same name, but with an indication of the sections.

**KEYWORDS:** TRANSPORT SYSTEMOLOGY, DELIVERY OF CARGO (SHIPMENT), CONTINUITY OF SHIPMENT (CHAIN, CONSECUTION, SCENARIO), SHIPMENT

#### РЕФЕРАТ

Петрашевский О.Л. Предложения по усовершенствованию терминологической системы транспортной системологии (часть 1) / О.Л. Петрашевский // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

Терминология транспортных систем и процессов создавалась более 30 лет назад. В настоящее время разработаны новые концепции, появились современные разделы системологии транспорта. Поэтому необходимо часть терминов и их определений переработать, а часть сформулировать заново. Работа трудная, следует привлекать научных специалистов в разных областях. Объем терминов и определений весьма значителен, поэтому все результаты разбиты на 3-5 частей и они будут печататься под одним названием, но с указанием разделов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СИСТЕМОЛОГИЯ ТРАНСПОРТА, ДОСТАВКА ГРУЗА, СЦЕНАРИЙ ДОСТАВКИ ГРУЗА, ПРОЦЕСС ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

#### АВТОР

Петрашевський Олег Львович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, e-mail: olp47@mail.ru, 044-280-70-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1 (Суворова), к. 344.

#### AUTHOR

Petrashovsky Oleg Lvovich, doctor of technical sciences, professor, National Transport University, professor of the department of airports, e-mail: olp47@mail.ru, 044-280-70-73, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelanovicha-Pavlenka 1 (Suvorova) st., of. 344.

#### АВТОР

Петрашевський Олег Львович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, e-mail: olp47@mail.ru, 044-280-70-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1 (Суворова), к. 344.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гамеляк І.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри електроніки та обчислювальної техніки, Київ, Україна.

#### REVIEWER:

Gameliak I.P., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Science, Professor of Department of Electronics and Computing Technics in National Transport University, Kyiv, Ukraine.

# КОМП'ЮТЕРНИЙ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

---

УДК 681.51+504.05  
UDC 681.51+504.05

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРАНСКОРДОННИХ ЕКОЛОГІЧНИХ КОНФЛІКТІВ

Машков О.А., доктор технічних наук, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна

Аль-Тамими Р.К.Н., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна

Лами Д.Д.Х., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна

## THE AEROSPACE APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE ASSESSMENT OF TRANSBOUNDARY ENVIRONMENTAL CONFLICTS

Mashkov O.A., State ecological Academy of postgraduate education and management

Al-Tameemi R.Q.N., State ecological Academy of postgraduate education and management

Lami D.J.H., State ecological Academy of postgraduate education and management

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОНФЛИКТОВ

Машков О.А., доктор технических наук, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина

Аль-Тамими Р.К.Н., Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина

Лами Д.Д.Х., Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина

**Вступ.** В роботі розглядається технологія використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів на прикладі Хотиславського піщано-вапняного кар'єру. Безпосередня близькість Хотиславського піщано-вапняного кар'єру, який знаходиться на території Брестської області Білорусі усього за 25 кілометрів від Свитязю загрожує існуванню Шацьких озер в Україні.

Нині цей кар'єр, у якому видобувають найбільш якісні в Європі кварцовий пісок і вапно, частково розроблений уже на глибину до 60 метрів, у той час як найглибше місце на Свитязі сягає 58 метрів. Шацькі озера мають карстове походження, знаходяться на водорозділі між Балтійським та Чорним морями. Тому відтік води з цих озер у кар'єр загрожує їх обмілінням, а відтак порушенням екосистеми регіону взагалі. До того ж, хмари пилу, насиченого плюмбумом, калієм та сполуками сірки, які підіймаються з кар'єру у процесі видобування піску і вапна, щоденно осідають на дно озер і концентруються в мулі. Подальше будівництво та видобуток крейди може порушити підземні водоносні системи та припинити живлення Шацьких озер.

Для дослідження та вирішення екологічної проблеми Хотиславського заповідника необхідне застосування сучасних інформаційних технологій (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників та застосування геоінформаційних технологій).

**Трансфер космічних технологій спостереження землі в вивченні транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів.**

На сучасному етапі при дешифруванні космічних знімків одним з головних завдань є виділення ознак (прямих і косвених) для розпізнавання сцени та об'єктів спостереження. При цьому стрімкий розвиток географічних інформаційних систем (ГІС) дав можливість не лише аналізувати поточний стан сцени моніторингу, але і проводити прогнозування екологічної ситуації (моделювання подій, що відбуваються) Це дає можливість приймати при необхідності обґрунтовані управлінські рішення.

Таким чином, космічний моніторинг широко використовується при вивченні ландшафтної структури, природних ресурсів і типів природокористування, а також для аналізу міри забруднення атмосфери, земельних і водних ресурсів, в роботах за оцінкою антропогенної і техногенної дії на довкілля. За допомогою використання існуючих та нових методик оцінки стану навколишнього природного середовища можливо оперативно вирішувати завдання в області природокористування і екології. При створенні систем екологічного моніторингу необхідно дотримання наступних основних принципів:

- об'єктивність і достовірність первинної, аналітичної і прогнозованої інформації;
- систематичність спостережень за станом що оточує природною середі техногенними об'єктами, що впливають на неї;
- підвищення оперативності здобуття і достовірності первинних даних за рахунок використання досконалих технологій процесів збору, накопичення і обробки екологічної інформації на всіх рівнях державного управління і місцевої самоврядності;
- сумісність технічного, інформаційного і програмного забезпечення;
- підвищення рівня і якості інформаційного обслуговування споживачів екологічної інформації на всіх рівнях функціонування системи на основі мережевого доступу до розподілених відомчих і інтегрованих банок даних, комплексної обробки і використання інформації для ухвалення відповідних рішень;
- оперативність доведення екологічної інформації до органів виконавчої влади, інших зацікавлених органів, підприємств, організацій і установ;
- доступність екологічної інформації для населення.

Враховуючи визначені принципи та нові підходи, що розроблені в роботах [1-9] запропонуємо до проведення екологічного моніторингу якості програмно-апаратних засобів і програмних продуктів будь-яких геоінформаційних систем або засоби автоматизованої обробки знімків дистанційного зондування Землі для створення карти динаміки. Процес створення карт динаміки поділяється на декілька послідовних етапів, протягом яких формуються її основні частини [2, 5-7].

1 етап. Підготовчий - формуються вимоги до створюваної карти, визначається район, здійснюється збір і обробка вихідної інформації.

2 етап. Формування карти динаміки - здійснюється за допомогою засобів автоматизованої обробки знімків, на основі вихідних знімків, формується спеціальне зображення, яке відображає ймовірність того, що та або інша ділянка території піддавалася змінам за допомогою часового рознісення космічних знімків.

3 етап. Формування багатоспектральної карти динаміки на основі існуючої виделеної спектральної характеристики карти.

4 етап. Складання якісної порівняльної характеристики карти динаміки.

Розглянемо можливості застосування космічних технологій для проведення екологічного моніторингу та вивчення транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів на прикладі впливу розробки Хотиславського кар'єру на Шацький природний національний парк.

Тематична обробка та дешифрування космічних знімків виконується за допомогою програмного забезпечення TROAS – IMAGINE. Для побудови цифрових карт повинно використовуватися програмне забезпечення ESRI ArcGIS. Базова цифрова картографічна основа створюється на територію біля Хотиславського кар'єру в масштабі 1: 50.000 та містить шари: межі області; межі районів; об'єкти гідрографії (річки, озера, болота); населені пункти (міста, селища, села); дороги (автомобільні, залізничні).

Вихідні цифрові карти (в масштабі 1: 50.000) створені в географічній системі координат UTM – WGS84 і передаються у shp – форматі.

Таким чином характеристики супутника «Січ-2» дозволяють отримати якісні орторефлектовані космічні знімки прикордонної території біля Хотиславського кар'єру.

#### **Інформаційна оцінка транскордонного екологічного впливу на довкілля .**

На жаль, навіть найбільші оптимісти змушені констатувати, що негативний вплив на природу неминучий. Але навіть при тому, що передбачені природоохоронні заходи, за оцінкою білоруських науковців, можливий вплив розробки родовища на рослинний і тваринний світ. Так, при пониженні рівня ґрунтових вод менш як на один метр, суттєвих змін у складі і структурі лісових насаджень не



станеться. Але рослинний та тваринний світ постраждає, а червонокнижна любка зеленоцвітна може зникнути, як і гребінчатий тритон.

Територія, де знаходиться Хотиславський кар'єр, є місцем епіцентру землетрусів. Це землетруси силою півтора-два бали, їх людина не відчуває, але вони можуть спричинити техногенні катастрофи. І оскільки в Білорусі поклади крейди непоодинокі, то існує екологічна небезпека існування Шацьких озер.

Проведені дослідження свідчать, що через роботи, які ведуться біля кар'єра, озеро Світязь може зникнути.

Зважаючи на міжнародну конвенцію про транскордонний вплив на природу, розробка Хотиславського кар'єру поки що зупинилась на видобутку піску. Відкритий шар крейди поки що не зачеплений, бо це пов'язано з подальшим заглибленням - за проектом глибина розробки - 43 метри. На перспективу, а це 25 років, кар'єр планується на території 95 гектарів.

За даними досліджень, в озерах Шацького регіону, які розташовані найближче до Хотиславського кар'єру, уже спостерігається зниження рівня водообміну у 5-6 разів. Ми вже маємо чіткий сигнал про те, що йде вже негативний вплив на довкілля України. Існує небезпека зневоднення території Національного заповідника "Шацькі озера", а також імовірність сейсмологічної загрози.

Нажаль Україна та Білорусь досі не погодили єдиної методики визначення екологічної шкоди внаслідок продовження і розширення діяльності Хотиславського кар'єру.

Небезпеку для екології Волині може становити нині друга черга Хотиславського кар'єру. Розбудова Хотиславського кар'єру вплине на рух ґрунтових вод у бік України. Від кар'єру до Волині з її унікальними озерами — лише 300 метрів. Неспокій викликає те, що Шацькі озера — карстового походження, і ситуація нагадує бочку із водою. Якщо буде хоч маленька дірка у її дні, якщо трапиться біда бодай із одним озером, то це, викличе ланцюгову реакцію.

Системні екологічні питання транскордонного впливу діяльності Хотиславського кар'єру полягають в тому, що при пониженні ґрунтових вод навіть на метр зникнуть деякі види флори та фауни. А район Шацьких озер та озер у Ратнівському, так само прикордонному районі Волині, — це унікальне природне місце, це територія Національного парку. Адже можна збудувати завод чи вирити кар'єр, але не можна відновити навіки втрачену природу.

Кажуть, вода і так тече в бік північного сусіда, якщо ж біля кордону з'явиться яма - глибокий кар'єр - вона може піти туди. Ми знаєм що ці озера карстового походження - в пустотах ці озера. І якщо кар'єр потягне воду цю, не буде цих заходів, то тоді через ці пустоти вода піде в кар'єр туди і осушить ці озера, будуть міліти, а деякі - які не дуже глибокі- вообщє - можуть в болото.

Як поведе себе карст коли кар'єр вийде на проектну потужність по видобутку не моделювалося, тому небезпека імовірна. Тому, задача збереження біорізноманіття, екологічного стану, оцінка ризиків – задача наукових досліджень та практичної діяльності.

**Застосування багатоспектральних космічних зображень для оцінки стану транскордонного екологічного конфлікту.**

Сьогодні дуже важко уявити життя людини без використання технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). За останні кілька років, вони міцно увійшли в наше життя і знайшли своє застосування в різних сферах діяльності людини. Однак, найбільш актуальним напрямком використання просторової інформації є моніторинг геопросторових даних (картографування територій). У даному процесі найбільш важливу роль грають дешифрувальні властивості космічних знімків і точність отримання необхідної інформації.

Класифікація космічних зображень з метою встановлення розповсюдження певних класів земного покриву, в цілому, може стати основою для створення систем екологічного моніторингу. Від якісного вирішення цього питання в багатьох випадках залежать подальші розрахунки та дослідження стану навколишнього середовища

Для проведення класифікації космічних знімків нами був використаний програмний продукт ERDAS Imagine, який визнано одним із світових лідерів серед програмних продуктів подібного призначення. ERDAS Imagine широко застосовується для оброблення супутникової інформації у багатьох наукових та виробничих центрах провідних країн Заходу (США, Німеччина, Франція, Італія та ін. ).

Застосування багатоспектральних космічних зображень дозволили виявити екологічні проблеми пов'язані з впливом Хотиславського кар'єру на екологію озера Світязь.

Дешифрування аеро- та космознімків - один з дистанційних методів вивчення навколишнього середовища. Дистанційні методи складаються з трьох етапів:

1) отримання вихідних матеріалів зйомки,

2) обробка матеріалів зйомки,

3) створення карт і некартографічних матеріалів по обробленим матеріалами зйомки.

Обробка матеріалів зйомки включає геодезичну (географічну) прив'язку їх, ліквідацію або облік геометричних спотворень знімків, перетворення і дешифрування їх.

Задача дешифрування - отримати якомога більше з аерознімків інформації, необхідної для поставленої мети. Отже, результати дешифрування залежать від інформаційної ємності аерознімків.

Розрізняють формальну, вірогідну й оціночну інформаційні ємності.

В основу формальної інформації може бути покладений зв'язок її з роздільною здатністю і контрастністю аерознімків. Інформація передається скупченням окремо помітних точок - елементарних носіїв інформації. Обсяг інформації залежить від розміру точок, з яких складається зображення, і від числа помітних тонів (кольорів).

Дешифрування знімків Хотиславського кар'єру полягає в аналізі зображення (глибина, розмір) та інших об'єктів місцевості на знімках з метою відмежування і опису їх характеристики для вирішення різних екологічних та природоохоронних завдань. Воно включає елементи як загальнотопографічного, так і власне геологічного дешифрування. У зв'язку з цим дешифрування кар'єру умовно поділяють на контурне і таксаційне.

Контурне дешифрування полягає у виділенні серед кар'єру масиву топографічних об'єктів і контурів площ для подальшого опису їх шляхом наземного огляду або способом аеротаксації.

Таксаційне дешифрування є найбільш складним і важким. Воно полягає в поділі кар'єру на таксаційні ділянки та визначенні геологічного складу.

При стереоскопічному аналізі знімків з роздільно помітними проекціями

Якщо раніше тематичне дешифрування виконувалося в основному з використанням візуально інструментальних методів, то сьогодні на тлі активного розвитку систем обробки даних дистанційного зондування тематичне дешифрування, крім візуально-інструментальних методів, стало використовувати, так само автоматизовані методи. Існує велика кількість сучасних пакетів з обробки даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ), за допомогою яких можна виконувати процедуру класифікації об'єктів представлених на космічному зображенні в інтерактивному режимі, з безпосередньою участю обробника. Так звана класифікація з навчанням. Або ж виконувати кластеризацію зображення на основі відомих статистичних методів і алгоритмів, таких як, наприклад IZODATA. Але ідентифікацію, отриманих в результаті кластеризації, класів об'єктів буде виконувати спеціаліст (інтерпретатор). Таким чином, повністю автоматизувати процес тематичного дешифрування поки не вдалося, тому, що навіть найсучасніші комп'ютерні системи навряд чи зможуть повністю змоделювати можливості людського ока та його аналітичного апарату.

Підбір матеріалів космічної зйомки є важливим етапом проведення класифікації для моніторингу довкілля. Для робіт по тематичному дешифруванню та створенню цифрових карт прикордонних територій були використані орторектифіковані космічні знімки з супутника «Січ-2», які були отримані у 2013 році (рис. 1).

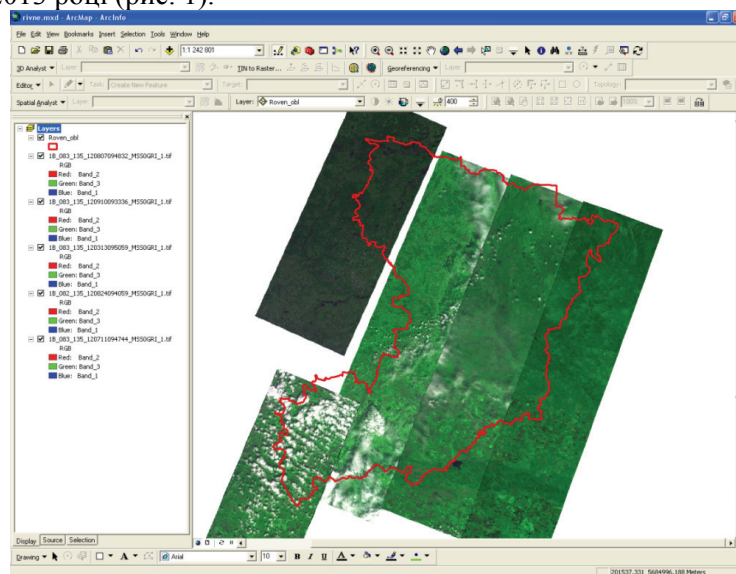


Рисунок 1 – Розташування космічних знімків з супутника «Січ-2» на досліджувану територію

Технологічно процес дешифрування можна розділити на два основні етапи: машинна класифікація; камеральне візуальне дешифрування.

Машинна класифікація дозволяє автоматизувати процес дешифрування. Метою класифікації було одержання тематичної інформації із знімка. У процесі класифікації у комп'ютерних системах статистичні дані одержуються із спектральних характеристик усіх пікселів зображення, сортування базується на математичних критеріях. Існує два шляхи класифікації: з неконтрольованим навчанням; з контрольованим навчанням.

Нами був обраний другий шлях розрахунку з метою його розповсюдження на для можливих інших транскордонних екологічних конфліктів.

Дана класифікація проводиться за допомогою навчання по обраним еталонам (рис. 3.9) із створенням для кожного з них відповідної сигнатури, які в подальшому й використовуються для визначення центрів класів.

Класифікації, як і самі сигнатури можуть бути параметричні й непараметричні.

Непараметричні правила: простір ознаки (Feature space), правило паралелепіпеда.

Класифікацію по методу контрольованого навчання можна розділити на два основні етапи: створення набору сигнатур; автоматична класифікація і створення тематичного растрового зображення.

Процес формування сигнатур здійснювався у такій послідовності:

- автоматичне або ручне позначення навчального об'єкту з використанням додаткових даних;
- додавання спектрального образу до ряду сигнатур;
- перевірка наявності перетинання спектральних образів.

Ця послідовність операцій чергується із злиттям схожих сигнатур, видаленням сигнатур, що перетинаються чи викликають сумнів.

Дана класифікація проводиться за допомогою навчання по обраним еталонам (рис. 2) із створенням для кожного з них відповідної сигнатури, які в подальшому й використовуються для визначення центрів класів.

Процес формування сигнатур доцільно завершити, якщо простір ознак максимально заповнений спектральними образами, які не перетинаються. Далі встановлювалися кольорові градації сформованим сигнатурами класам і давалася назва. В результаті створюється набір сигнатур, що визначають вибірку навчання. Кожна сигнатура відповідає класу та використовується у відповідності з вирішальним правилом для віднесення пікселів до того чи іншого класу (рис. 3.10-3.11).

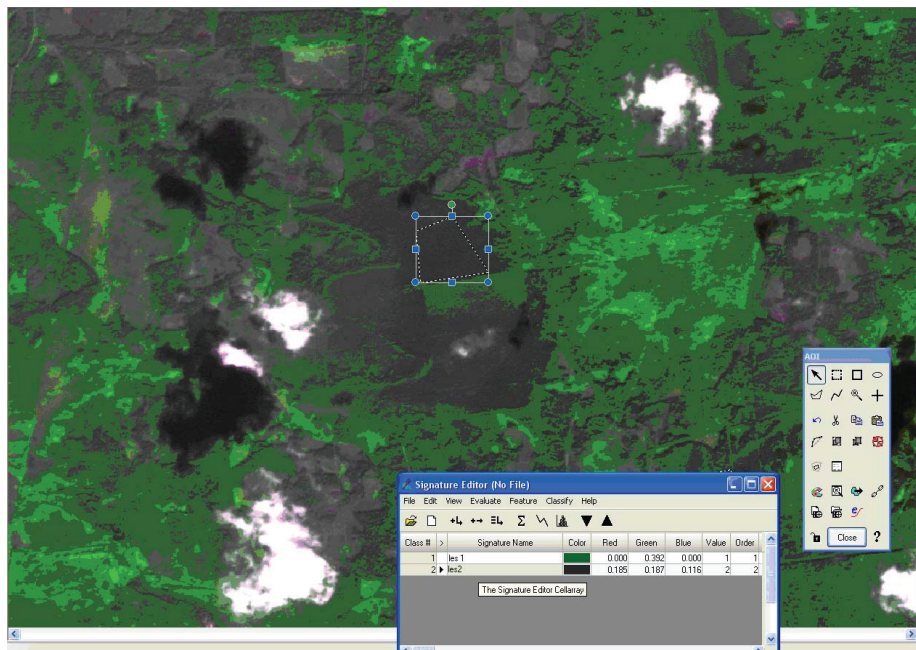


Рисунок 2 – Контрольована класифікація. Процес створення еталонів



Класифікації, як і самі сигнатури можуть бути параметричні й непараметричні. До параметричних правил відносяться: максимальна схожість, відстань Махаланобіса, мінімальна відстань.

Непараметричні правила: простір ознаки (Feature space), правило паралелепіпеда.

Класифікацію по методу контрольованого навчання можна розділити на два основні етапи: створення набору сигнатур; автоматична класифікація і створення тематичного растрового зображення.

Процес формування сигнатур здійснювався у такій послідовності:

- автоматичне або ручне позначення навчального об'єкту з використанням додаткових даних;
- додавання спектрального образу до ряду сигнатур;
- перевірка наявності перетинання спектральних образів.

Ця послідовність операцій чергується із злиттям схожих сигнатур, вилученням сигнатур, що перетинаються чи викликають сумнів.

Процес формування сигнатур доцільно завершити, якщо простір ознак максимально заповнений спектральними образами, які не перетинаються. Далі встановлювалися кольорові градації сформованим сигнатурами класам і давалася назва. В результаті створюється набір сигнатур, що визначають вибірку навчання. Кожна сигнатура відповідає класу та використовується у відповідності з вирішальним правилом для віднесення пікселів до того чи іншого класу (рис. 3-4).

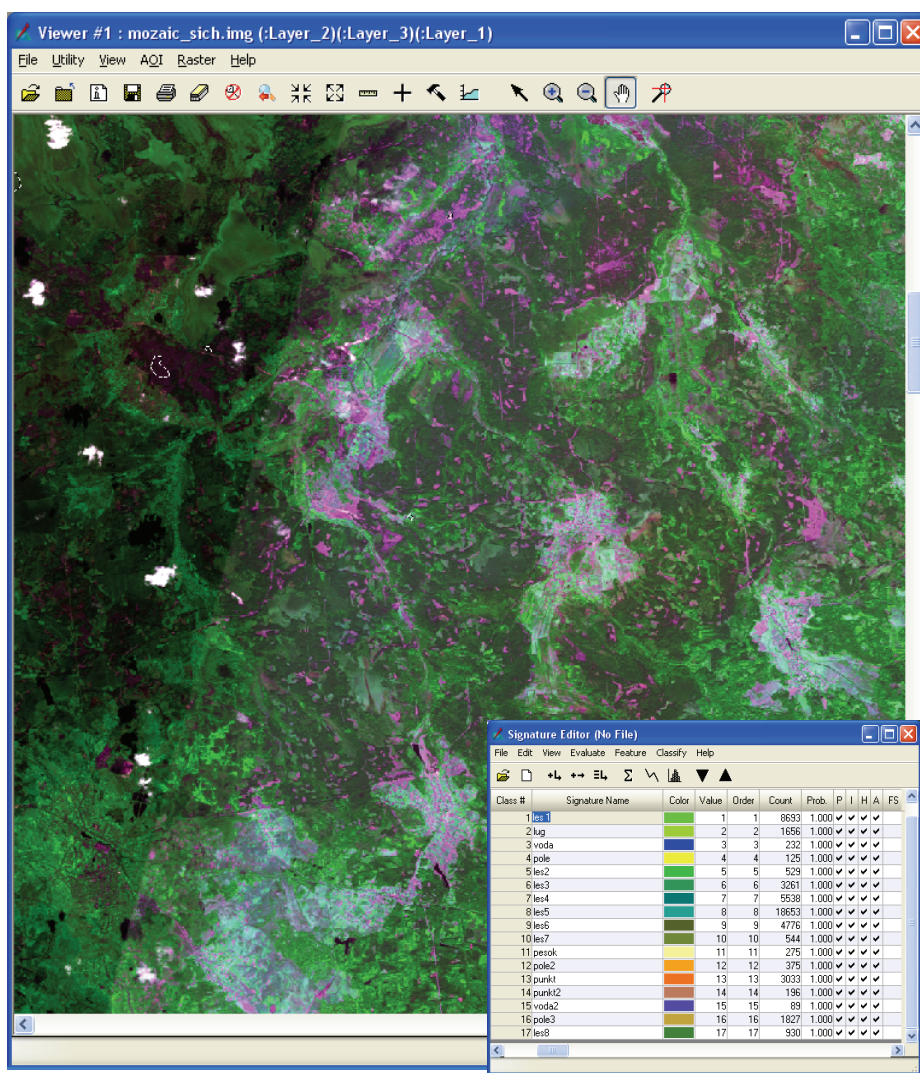


Рисунок 3 – Створення зображення простору ознак

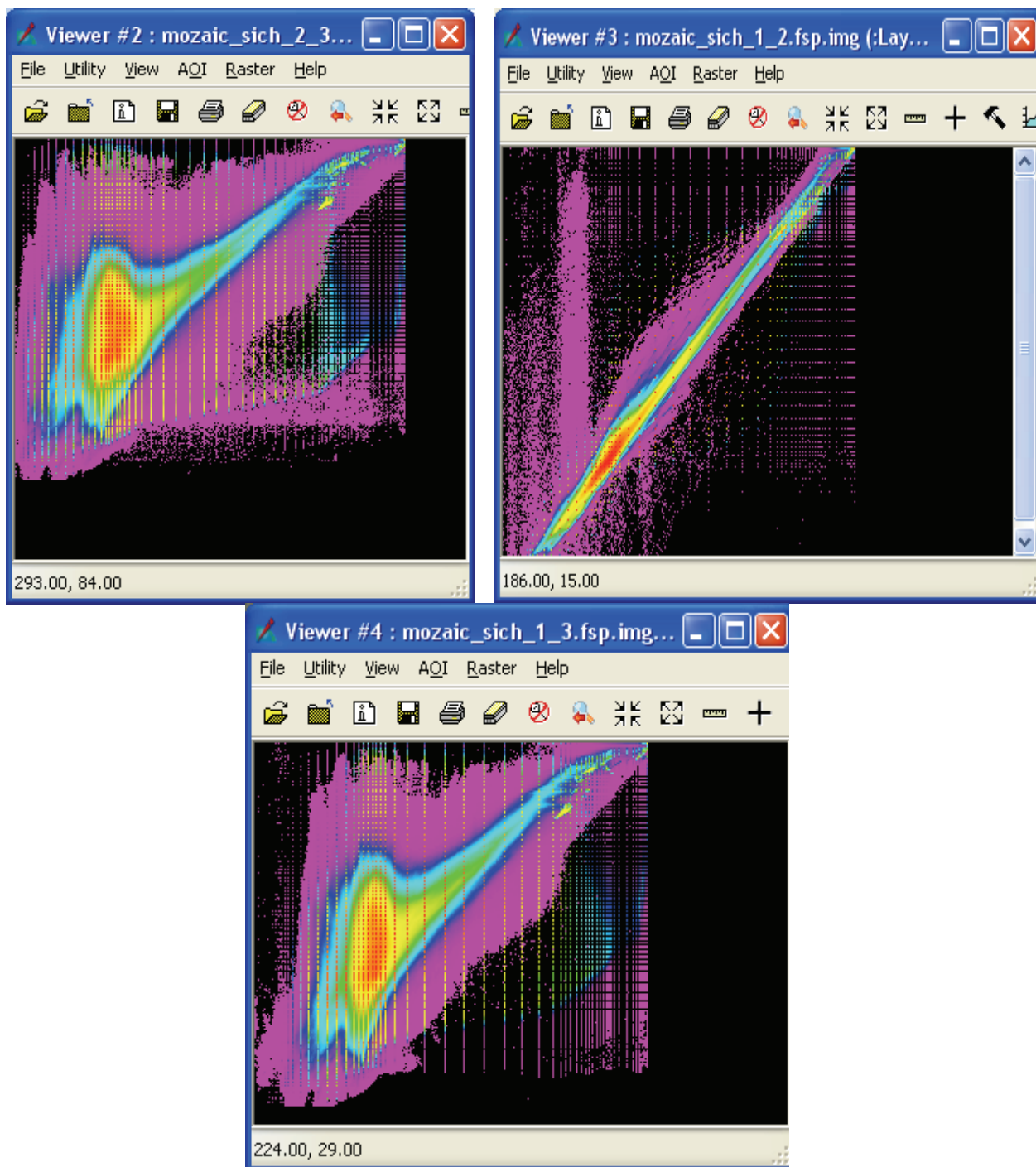


Рисунок 4 – Варіанти результуючих зображень простору ознак, утворених на основі комбінації різних каналів

Модуль класифікації ERDAS Imagine має багато підходів в залежності від можливостей знімка, типу створених сигнатур, вибору спеціаліста-аналітика. В процесі роботи нами були обрані сигнатури типу “еліпс” (рис. 5).

Для виконання автоматичного класифікування встановлювалися опції:

- головне вирішальне правило відсутнє – класифікувати піксели, що потрапили до еліпса необхідно безпосередньо за створеними сигнатурами;
- піксели, які не потрапили до еліпса потрібно класифікувати за правилом максимальної правдоподібності;
- перетинання еліпсів ігнорується.

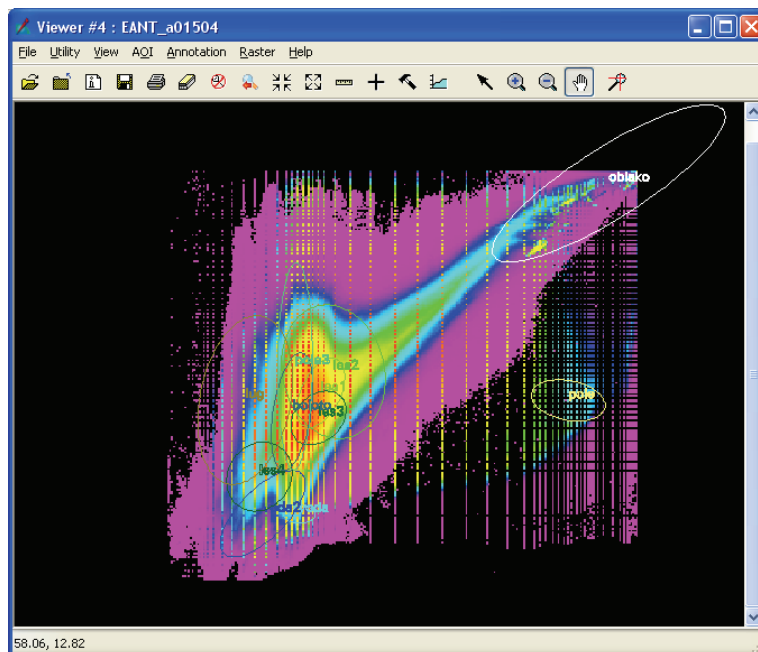


Рисунок 5 – Перегляд об’єктів еталонів на зображенні простору ознак

Для того щоб отримати кольорове зображення було проведено поєднання колонок атрибутів растрів вихідного тематичного та отриманого після генералізації (рис. 6). В результаті чого колір напівтонової шкали зміниться на відповідний колір з еталонного файлу (рис. 7).

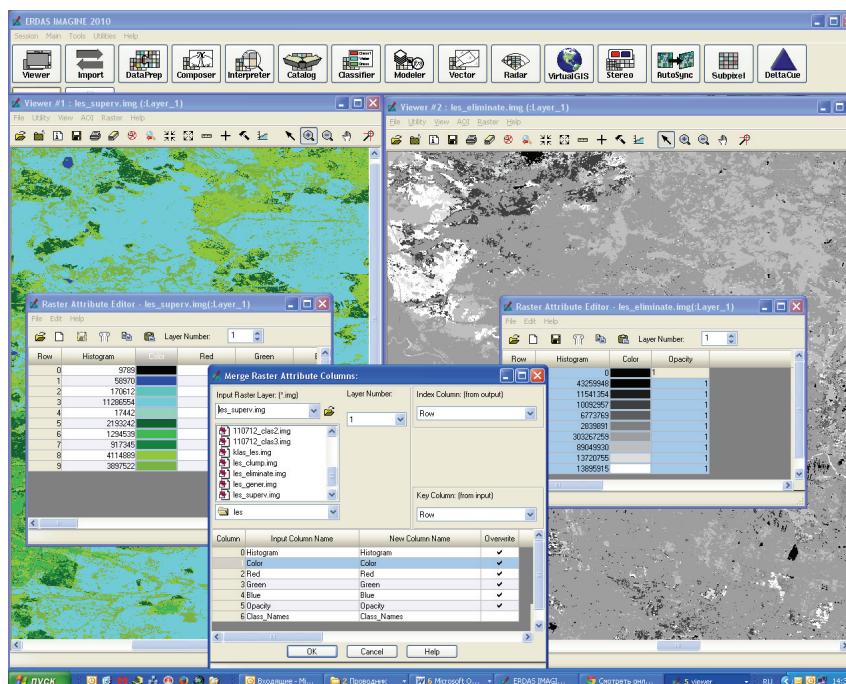


Рисунок 6 – Процес встановлення зв’язку між еталонним і генералізованим зображеннями.



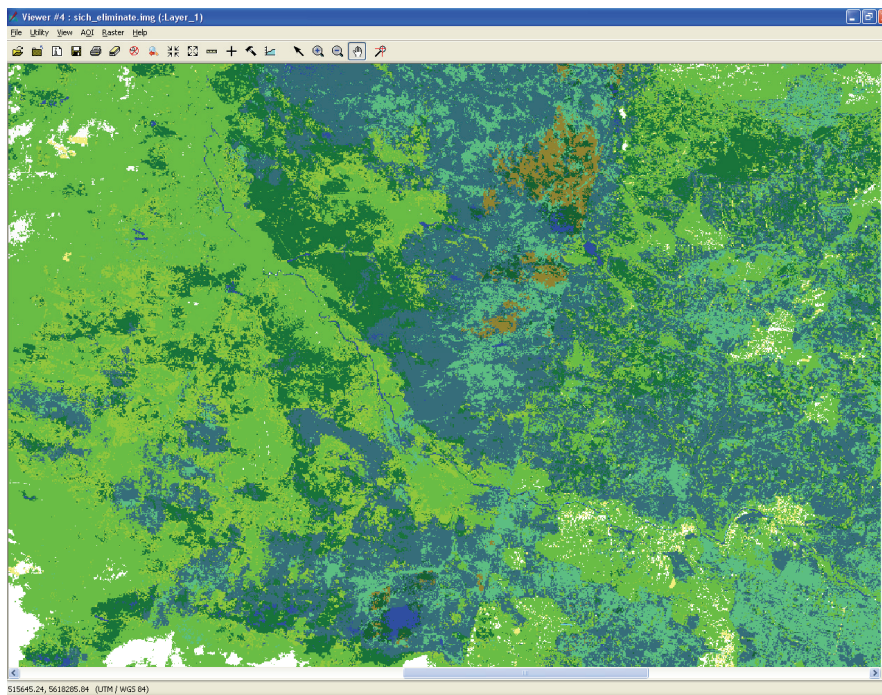


Рисунок 7 – Результуюче тематичне зображення

Після проведеної генералізації отримане тематичне зображення знову було проаналізоване з метою об'єднання (злиття) класів (функція перекодування тематичного растрового шару). Тобто, якщо було виділено декілька видів водних поверхонь, полів, то вони об'єднувались в один клас. В результаті було отримане відредаговане зображення (рис. 8).

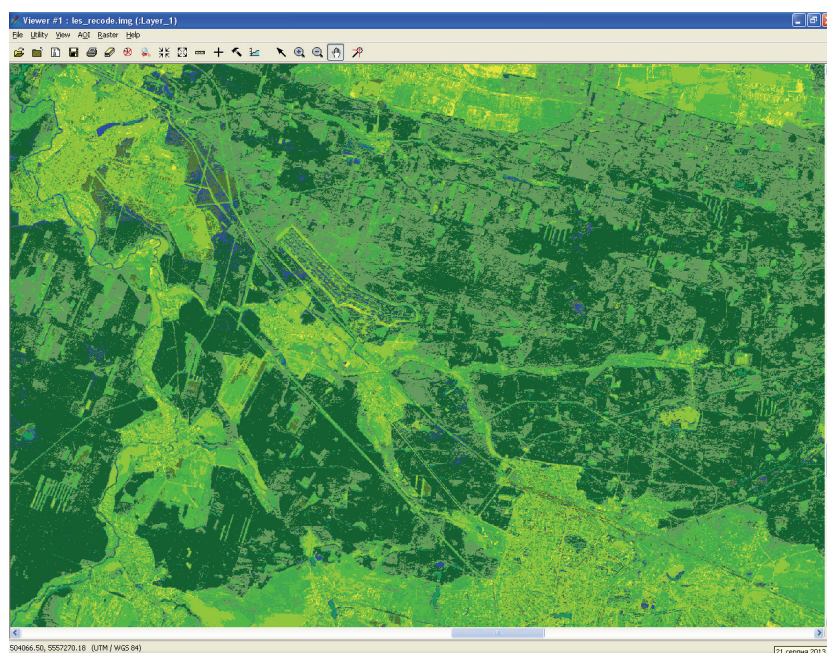


Рисунок 8 – Фрагмент зображення після застосування функції перекодування

Отримане зображення використовується для екологічної оцінки наслідків транскордонного конфлікту.

**Висновки та рекомендації з оцінки на основі даних дистанційного зондування Землі транскордонного впливу діяльності Хотиславського кар'єру на стан довкілля.**

1. Для оцінки транскордонного впливу господарської діяльності екологічно небезпечних підприємств та можливих ризиків на стан довкілля сьогодні доцільне використовувати сучасні

інформаційні технології (використання матеріалів дистанційного зондування Землі з супутників та застосування геоінформаційних технологій).

2. При виконанні екологічно небезпечних робіт у прикордонних районах існує екологічна небезпека з приводу порушення підземних водоносних горизонтів. Це може привести до припинення живлення озер, існують загрози обміління, скорочення площ водного плеса, наслідком яких стане загибель унікальних природних водойм, втрата окремих видів флори і фауни.

3. Транскордонні екологічні конфлікти можуть привести до неминучих і незворотних змін для нормального функціонування сільського та лісового господарства, порушення водопостачання жителів прикордонних районів, погіршення гідромеліоративного стану осушуваних земель. Видобування і транспортування крейди провокує також техногенне забруднення навколишнього середовища повітряним шляхом.

4. За даними обробки аерокосмічних зйомок з використанням геоінформаційних технологій встановлено, що експлуатація у прикордонній території техногенно та екологічно небезпечних об'єктів може призвести до біосферного конфлікту (транскордонного забруднення) та екологічної катастрофи: збільшення стоку вод у Чорне море і зменшення стоку вод у Балтійське море. Це призведе до уповільнення водного обміну в Шацьких озерах та як наслідок призведе до посилення природних і антропогенних факторів на евтрофування озер Шацького національного природного парку.

5. Проведені дослідження свідчать про необхідність здійснення заходів щодо невідкладної організації постійного моніторингу за станом підземних вод на прикордонній території з метою постійного контролю за їх станом та своєчасного здійснення необхідних дій щодо попередження можливих негативних екологічних наслідків на території України.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про ратифікацію Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті від 19 березня 1999 року № 534–XIV. Угода між урядом України і Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі охорони навколишнього середовища від 16.12.1994 р.

2. Машков О.А., Аль-Тамими Р.К.Н., Лами Д.Д.Х. Використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів / Збірка наукових праць / Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2015, - Херсон, 2018, с. 96-105.

3. Бондар О.І., Машков О.А. Інноваційний розвиток та модернізація системи природокористування України (реперні точки розвитку галузі і шляхи її реалізації) / Матеріали VI Міжнародного форуму «Трансфер технологій та інновації: інноваційний розвиток та модернізація економіки», 20-21 грудня 2012 р., м. Київ, с. 236-252.

4. Машков О.А., Качалин И.Г., Сеницкий Р.Н. Проектирование и разработка автоматизированной системы сбора и обработки геофизической информации / Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці, Вип. 29, Київ, 2005, с. 57-64.

5. Пічугін М.Ф., Машков О.А., Сашук І.М., Кирилюк В.А. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах, Житомир, вид. ЖВІРЕ, 2006, 176 с.

6. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялько В.І., Федоровський О.Д., Попов М.О. та ін] під ред. В.І. Лялька, М.О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.

7. Лялько В.І. Применение многозональных космических снимков для оценки экологического состояния лесов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС) / В.І. Лялько, А.І. Сахакский, А.Я. Ходоровский // Праці Міжнародної науково-практичної конференції - "Інформаційні технології управління екологічною безпекою, ресурсами та заходами у надзвичайних ситуаціях. Крим, с. Рибаче, 8-11 вересня 2002 р.: тези докл. — К.: НАУ "ХАІ". — 2002. — С. 75—77.

8. Станкевич С.А., Козлова А.О. Особливості розрахунку індексу видового різноманіття за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2006. - Т. 19(58). - С. 144-150.

9. Романенко В.Д. Загрози антропогенного впливу на ландшафтне і біологічне різноманіття озер Шацького національного природного парку / В.Д. Романенко, В.І. Щербак, В.М. Якушин, Н.В. Майстрова, Н.Є. Семенюк // Природа Західного Полісся: сб. наук. пр. ВДУ ім. Лесі Українки. — Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. Держ. ун-ту ім. Лесі Українки, - 2012. - №9. — С. 319-324.



## REFERENCES

1. Закон України «Про ратифікацію Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті від 19 березня 1999 року № 534–XIV. Угода між урядом України і Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі охорони навколишнього середовища від 16.12.1994 р.
2. Mashkov O.A., Al'-Tamimi R.K.N., Lami D.D.H. Використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів / Збірка наукових праць / Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMSI'2015, - Herson, 2018, s. 96-105.
3. Bondar O.I., Mashkov O.A. Інноваційний розвиток та модернізація системи природокористування України (реперні точки розвитку галузі і шляхи її реалізації) / Матеріали VI Міжнародного форуму «Transfer технологій та інновацій: інноваційний розвиток та модернізація економіки», 20-21 грудня 2012 р., м. Київ, s. 236-252.
4. Mashkov O.A., Kachalin I.G., Sinickij R.N. Проектування і розробка автоматизованої системи збору і обробки геофізическої інформації / Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці, Вип. 29, Київ, 2005, s. 57-64.
5. Pichugin M.F., Mashkov O.A., Sashuk I.M., Kiriljuk V.A. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексів, Житомир, вид. ZhVIRE, 2006, 176 s.
6. Bagatospektral'ni методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лял'ко В.І., Федоровський О.Д., Попов М.О. та ін] під ред. В.І.Лял'ка, М.О.Попова.— К.: Nauk.dumka, 2006.— 357 s.
7. Лял'ко В.І. Применение многозональных космических снимков для оценки экологического состояния лесов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС) / В.І.Лял'ко, А.І.Сажакієв, А.Я.Ходоровський // Праці Міжнародної науково-практичної конференції - "Інформаційні технології управління екологічною безпекою, ресурсами та заходами у надзвичайних ситуаціях. Крим, с.Рибаче, 8-11 вересня 2002 р.: тези докл.— К.: НАУ "НАІ".— 2002.— С.75—77.
8. Stankevich S.A., Kozlova A.O. Особливості розрахунку індексу видового різноманіття за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків // Ученые записки Таврического национального университета им.В.І.Вернадского, 2006.- Т.19(58).- С.144-150.
9. Romanenko V.D. Загрози антропогенного впливу на ландшафтні і біологічні різноманіття озер Шацького національного природного парку / V.D. Romanenko, V.I. Shcherbak, V.M. Jakushin, N.V. Majstrova, N.E. Semenjuk // Природа Західного Полісся: сб. наук. пр. ВДУ ім. Лесі Українки. – Луцьк: РВВ «Везха» Волин. Держ. ун-ту ім. Лесі Українки, - 2012. - №9. – С. 319-324. .

## РЕФЕРАТ

Машков О.А. Застосування інформаційних аерокосмічних технологій для оцінки транскордонних екологічних конфліктів/ О.А. Машков, Р.К.Н. Аль-Тамімі, Д.Д.Х.Ламі// Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Науково-технічний журнал НТУ. – К.: 2016. - Вип. 4.

В роботі розглядається технологія використання даних аерокосмічного моніторингу для оцінки транскордонних екологічних конфліктів. Космічеських технологій спостереження землі використовуються в вивченні транскордонного впливу діяльності екологічних техногенно небезпечних об'єктів на довкілля. Здійснена інформаційна оцінка транскордонного екологічного впливу на довкілля. Розглянута технологія застосування багатоспектральних космічних зображень для оцінки стану транскордонного екологічного конфлікту. Запропоновані рекомендації з оцінки даних дистанційного зондування Землі транскордонного впливу діяльності Хотиславського кар'єру на стан довкілля.

**КЛЮЧЕВІ СЛОВА:** АЕРОКОСМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ІНФОРМАЦІЙНА ОЦІНКА, МОНІТОРИНГ, ТРАНСКОРДОННІ ЕКОЛОГІЧНІ КОНФЛІКТИ.

## ABSTRACT

Mashkov O.A. The aerospace application of information technologies for the assessment of transboundary environmental conflicts/ O.A. Mashkov, R.Q.N. Al-Tameemi, D.J.H. Lami// Information processes, technologies and systems on transport- K.: NTU - 2016. - Vol. 4.

This paper considers the technology of aerospace monitoring data to assess transjordanic environmental conflicts. Cosmona technology earth observation are used to study the transboundary environmental impact of anthropogenic hazardous facilities on the environment. Implemented information assessment of transboundary environmental impacts on the environment. The technology of application of multispectral satellite images for assessment of transboundary environmental conflicts. Recommendations on

the evaluation of remote sensing data of the Earth transboundary impact of the activity Hotislavskoe career on the environment.

KEYWORDS: AEROSPACE TECHNOLOGY, REMOTE SENSING, INFORMATION ASSESSMENT, MONITORING, TRANSJORDAN ENVIRONMENTAL CONFLICTS.

#### РЕФЕРАТ

Машков О.А. Применение информационных аэрокосмических технологий для оценки трансграничных экологических конфликтов/ О.А. Машков, Р.К.Н. Аль-Тамими, Д.Д.Х.Лами// Информационные процессы, технологии и системы на транспорте . - К: НТУ -2016. - Вып. 4.

В работе рассматривается технология использования данных аэрокосмического мониторинга для оценки трансграничных экологических конфликтов. Космические технологии наблюдения земли используются для изучения трансграничного воздействия деятельности экологических техногенно опасных объектов на окружающую среду. Осуществлена информационная оценка трансграничного экологического воздействия на окружающую среду. Рассмотрена технология применения многоспектральных космических изображений для оценки трансграничного экологического конфликта. Предложены рекомендации по оценке данных дистанционного зондирования Земли трансграничного воздействия деятельности Хотиславского карьеру на состояние окружающей среды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА, МОНИТОРИНГ, ТРАНСКОРДОННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КОНФЛИКТЫ.

#### АВТОРИ:

Машков Олег Альбертович, доктор технічних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна, проректор з наукової роботи, e-mail mashkov\_oleg\_52@ukr.net , (044)- 206-31-87, (050)-223-24-44

Аль-Тамими Р.К.Н., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна, (044)- 206-31-87

Лами Д.Д.Х. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна, (044)- 206-31-87

#### AUTHORS:

Mashkov O.A., doctor of technical Sciences, Professor State ecological Academy of postgraduate education and management Kyiv, Ukraine Vice-rector on scientific work, e-mail mashkov\_oleg\_52@ukr.net, (044)- 206-31-87, (050)-223-24-44

Al-Tameemi R.Q.N., State ecological Academy of postgraduate education and management, (044)- 206-31-87

Lami D.J.H., State ecological Academy of postgraduate education and management, (044)- 206-31-87

#### АВТОРЫ:

Машков О.А., доктор технических наук, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина, проректор по научной работе, e-mail mashkov\_oleg\_52@ukr.net , (044)- 206-31-87, (050)-223-24-44

Аль-Тамими Р.К.Н., Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина (044)- 206-31-87

Лами Д.Д.Х. Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, Украина, (044)- 206-31-87

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Вашченко В.М., доктор фізико-математичних наук, Навчально-науковий інститут екологічного моніторингу та інноваційних технологій, директор, Київ, Україна.

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Vashchenko V. M., doctor of physical and mathematical Sciences, Educational-scientific Institute of environmental monitoring and innovative technologies, Director, Kiev, Ukraine.

Baranov G.L., Ph.D., professor, position - professor of department of Information Systems and Technologies in National Transport University, Kyiv, Ukraine.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аль-Аммори Али, д.т.н., профессор Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Верховецкая И. Н., аспирантка, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Топольсков Е. А., к. т. н., доцент Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Тимченко Е.П., ассистент, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

## EFFECTIVENESS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University Kyiv, Ukraine  
Verkhovetska I. N., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Topolskov E. A., PhD, National Transport University, Kiev, Ukraine  
Tymchenko O.P., assistant, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Аль-Амморі Алі, д.т.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Верховецька І. М., аспірантка, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Топольський Є. О., к.т. н., доцент Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Тимченко О.П., асистент, Національний транспортний університет, Київ, Україна

**Введение.** Возобновляемые источники энергии, к которым относятся ветер и солнечное излучение, находят все более широкое применение в современном мире, поскольку это направление решает одновременно проблемы энергетики и экологии.

Предложенные направления развития возобновляемых источников энергии одновременно решают три глобальные и актуальные проблемы:

1. Экологическая проблема человечества. Глобальное потепление на планете в первую очередь связано с загрязненностью воздуха и обуславливает большие эпидемии заболеваний людей.
2. Энергообеспечение экономики и бытовых проблем проживания человечества.
3. Значительное увеличение рабочих мест, связанных с передовыми технологиями и требуют рабочих высокой квалификации.

Согласно расчетам, проведенных ООН относительно окружающей среды, глобальные инвестиции в энергетику с нулевым парниковым эффектом достигают около 1.9 трлн. долларов. Почти 2 млн. человек во всем мире заняты в новых ветро- и солнечно- энергетических отраслях. В Германии в ближайшие годы ожидается четырехкратное увеличение инвестиций в экологические технологии и к 2030 году на них придется 16% выпускаемой продукции, а рабочих будет занято больше чем в автомобильной промышленности.

Основные направления возобновляемой энергетики: фотоэнергетика - 50% , ветроэнергетика - 30% , тепловая солнечная энергетика - 15% .

Возобновляемая энергетика ежегодно растет на 30% – 50% , а ее развитие объявлено приоритетным направлением во всем мире.

На современных тепловых электростанциях используют только 30 % тепла, а остатки выбрасываются в окружающую среду.

**Основная часть.** Использование энергии солнца приведет к приоритету децентрализованного производства и использования энергии.

На Украине есть возможность использовать 50 млн.кв.м. для коллекторов гелиоустановок.

Основные параметры фотоэлектрических модулей:

1. Номинальная мощность фотоэлектрической части (при солнечном излучении  $1000 \text{ Вт/м}^2$ )  $60 \text{ Вт}$  ;
2. Напряжение постоянного тока в режиме короткого замыкания  $U_{\text{кз}} = 20.4 \text{ В}$  ;
3. Величина тока короткого замыкания  $I = 4 \text{ А}$  .
4. Срок использования 30 лет.

Для эффективной работы фотоэлектрических модулей желательно было бы иметь систему автоматической ориентации на солнце (солнечный трекер). При этом добыча электроэнергии от фотоэлектрической батареи можно увеличить в 1.5 – 2 раза.

Традиционно наиболее распространенной, еще с древних времен, считается энергия ветра, которая использовалась для помола зерна. Число ветровых мельниц достигало 200 тыс. экземпляров. Это были деревянные мельницы с четырьмя лопастями, средней мощности  $3.5 \text{ кВт}$ . Ветряки перемалывали за год 3.4 млн. тонн зерна.

Ветровая энергия широко использовалась еще 150 лет назад. На рис.1. показано как потом эта возобновляемая энергия заменилась энергией добывающего угля, нефти и газа.

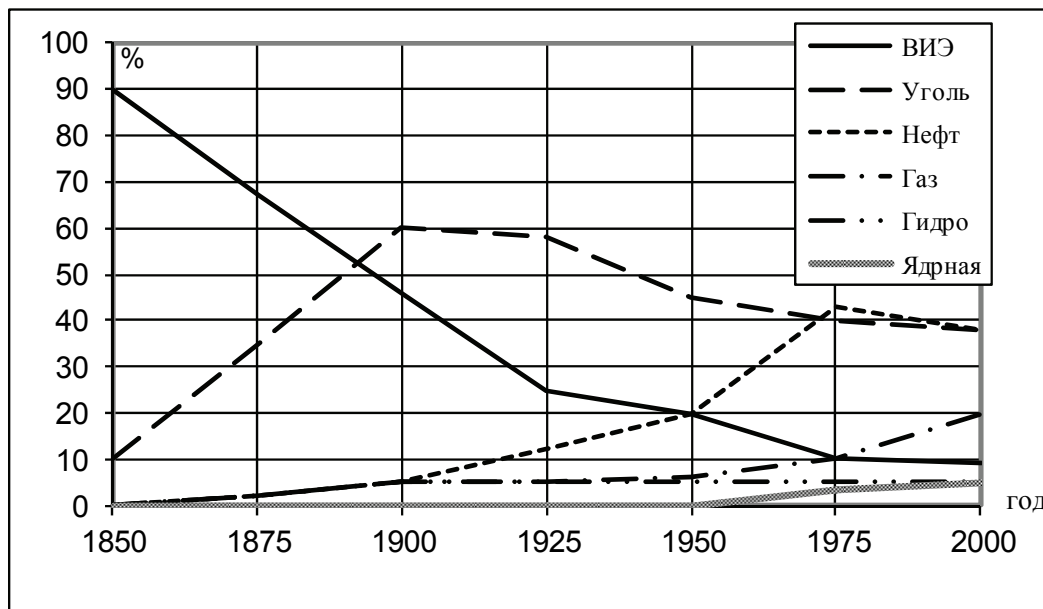


Рисунок 1- Исторические изменения потребления энергии во всемирном энергоснабжении

Традиционные источники энергии имеют 2 основных недостатка:

1 . Традиционные ресурсы не восстанавливаются, имеют ограниченный срок использования, и уже сейчас существует необходимость поиска новых методов производства энергии.

2 . Использование традиционных ресурсов для получения энергии приводят к значительным экологическим последствиям и загрязнению окружающей среды.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) почти не вызывают негативных экологических последствий, или такие явления сводятся к минимуму при правильной организации охраны труда и соблюдения технологических норм.

Возобновляемые источники энергии имеют следующие преимущества:

1. Практически неисчерпаемые источники энергии, их потенциал постоянно восстанавливается, и поэтому срок использования неограничен.

2. Не требуют значительных затрат на добычу, перевозку и переработку топлива.

3. Почти не влияют на окружающую среду, не имеют экологически опасных побочных эффектов, не влияют на здоровье человека.

Наряду с преимуществами ВИЭ имеют несколько важных недостатков, которые в настоящее время ограничивают их широкое использование:

1. Малая плотность потока энергии, необходимы большие поверхности для переработки ВИЭ в практически необходимых масштабах.

2. Значительная неравномерность выработки энергии ВИЭ в зависимости от времени, суточной периодичности и времени года, что требует применения сложных и дорогостоящих систем аккумулирования энергии или дублирования мощностей за счет традиционных энергоресурсов.

3. Неравномерность расположения источника ВИЭ, поэтому они могут широко использоваться только в наиболее благоприятных по концентрации районах.

Поскольку ветры малой мощности существуют на большей территории Украины и более длительный срок, чем ветры большой мощности, то целесообразно применять большое количество маломощных ветроэнергетических установок (ВЭУ) чем одну ВЭУ большой мощности. Например, если взять  $n$  маломощных ВЭУ, каждая из которых имеет мощность  $P_i$ , и сравнить их с большой мощностью  $P$  одной большой ВЭУ (пусть эта мощность  $P$  будет равна сумме мощностей малых

ВЭУ, т.е.  $P = \sum_{i=1}^n P_i$ ), то количество энергии  $E_n = P t_n$  от ВЭУ большой мощности за время  $t_n$  ее работы при мощных ветрах может быть значительно меньше относительно энергии  $E_m$  от маломощных ВЭУ, которую можно определить в соответствии с формулой:

$$E_m = \sum_{i=1}^n P_i t_i,$$

где  $t_i$  - время работы маломощной ВЭУ;  $n$  - количество маломощных ВЭУ. Это объясняется тем, что  $t_n$  время работе ВЭУ большой мощности будет меньше по сравнению с общим временем работы маломощных ВЭУ, т.е.:

$$t_n < \sum_{i=1}^n t_i.$$

Кроме того, ВЭУ большой мощности требуют значительных затрат на эксплуатацию. Большое количество маломощных ВЭУ может быть расположена комплексами непосредственно на крышах высоких зданий и даже внутри зданий в крупных городах. В условиях бурного развития электроники и микропроцессорной техники использование большого количества маломощных ВЭУ может быть полностью автоматизирован, что несомненно обеспечит значительно меньшие экономические затраты при их использовании.

Таким образом, согласно экономической эффективности лучше иметь большое количество маломощных ВЭУ, расположенных непосредственно на крышах высоких зданий и даже внутри зданий в крупных городах, по сравнению с ограниченным количеством крупных ВЭУ, расположенных на больших площадях сельскохозяйственных угодий вдали от крупных городов и промышленных центров. Целесообразно поучиться у Матушки Природы. Большое количество малых пчел способны собрать большую массу полезного меда из большого количества маленьких цветков. Конечно, одна большая пчела, если бы она существовала, не была бы способна собрать такое большое количество полезного нектара из маленьких цветков.

Для обеспечения непрерывного снабжения электроэнергией из солнечного излучения и ветра целесообразно создавать комплексы, состоящие из четырех частей:

1. Маломощные ветряные установки (МВУ), в которых для повышения скорости ветра (это означает повышение мощности) можно использовать концентраторы ветровой энергии различных типов.
2. Солнечные панели с концентраторами солнечного излучения различных типов и использования устройств оптимального наклона солнечных панелей относительно направления солнечного излучения.
3. Аккумуляторы электрической и тепловой энергии в зависимости от потребностей.
4. Микроконтроллеры для рационального непрерывного управления предложенным комплексом в режиме реального времени.

Согласно данным статистических исследований в течение года в среднем солнечных дней в Киеве 273, в частности зимой 53, весной 73, летом 89, осенью 58. Учитывая тот факт, что солнце светит не более 12 часов в сутки, в среднем можно подсчитать, что солнце светит в Киеве в течение года 3504 часов. Поскольку общее количество часов в течение года составляет 8760 часов, то можно утверждать, что среднее статистическое значение вероятности  $P_C$  появления солнечного излучения в течение года может быть вычислено следующим образом  $P_C = 3504/8760 = 0.4$ . Аналогично можно подсчитать согласно данным исследований на метеостанциях в Киеве количество часов в течение года, когда существует рабочий ветер со скоростью, начиная с 3 м / с и выше, равно 6137 часов. При этом среднестатистическое значение вероятности  $P_B$  существования ветра в г. Киеве на протяжении года будет следующим  $P_B = 6132/8760 = 0.7$ .

Конечно, указанные среднестатистические значения вероятностей  $P_C$  и  $P_B$  приблизительные и определяются со степенью доверия примерно 95% в соответствии с нормальным законом распределения среднестатистических данных. Более того, если определить такие среднестатистические вероятности течение отдельных месяцев, то они будут существенно отличаться от среднестатистических значений вероятностей в год. Несмотря на это такими оценками можно пользоваться для определения исходных данных с целью создания алгоритма работы предложенной структуры комплекса устройств для использования энергии ветра и солнечного излучения.

Так с учетом приведенных значений  $P_C = 0.4$ ,  $P_B = 0.7$  можно определить вероятность  $P_{BC}$  совместного существования энергии ветра и солнечного излучения относительно формулы:

$$P_{BC} = 1 - (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 0.82$$

Можно определить также вероятность,  $P_a$  когда должны работать только одни аккумуляторы, если отсутствуют ветер и солнечное излучение вместе, то есть:

$$P_a = (1 - P_B) \cdot (1 - P_C) = 0.18$$

При этом время  $T_a$  работы только одних аккумуляторов при отсутствии ветра и солнечного излучения в течение года можно определить, если умножить общее количество часов  $t = 8760$  на вероятность  $P_a = 0.18$ , тогда срок работы только одних аккумуляторов  $T_a = t \times p_a = 1577$  часов.

Таким образом, используя приведенные исходные данные, можно ориентировочно определить необходимую емкость аккумуляторов электрической энергии в предлагаемой комплексе.

Если разделить время  $T_a$  использование только аккумуляторов в течение года на  $n = 365$  число дней в году, то можно получить среднее значение  $T_{да}$  срока использования аккумуляторов в течение суток, то есть:

$$T_{да} = \frac{T_a}{n} = \frac{1577}{365} = 4,3 \text{ часа}$$

Таким образом, при совместном использовании энергии маломощных ветров и солнечного излучения в пределах Киевской области, аккумуляторы могут работать в среднем 4.3 часа в сутки в течение года.

Если использовать только энергию маломощных ветров, то в отношении приведенных данных нетрудно подсчитать, что аккумуляторы должны работать 2628 часов в течение года, или в среднем 7.2 часа в сутки.

Аналогично, если использовать только энергию солнечного излучения, то для непрерывного обеспечения потребителя электроэнергией аккумуляторы должны работать 5256 часов в течение года, или в среднем 14.4 часов в сутки.

Таким образом, при использовании только энергии маломощных ветров срок использования аккумуляторов течение суток увеличивается в 1.7 раза, а при использовании только энергии солнечного излучения, суточный срок использования аккумуляторов увеличивается в 3.3 раза.

Учитывая тот факт, что стоимость использования аккумуляторов значительно выше по сравнению со стоимостью использования энергии ветра и солнечного излучения, то эффективность существенно повышается благодаря совместному использованию возобновляемых источников энергии.

#### **Выводы:**

1. Анализ энергетического обеспечения человечества настойчиво подсказывают о необходимости немедленного широкого внедрения возобновляемых источников энергии ветра и солнечного излучения.
2. Теоретические исследования показывают об эффективности создания большого количества комплексов маломощных ветровых и солнечных установок под управлением современной вычислительной техники.
3. Широкое применение маломощных комплексов возобновляемых источников энергии одновременно и эффективно решает две наиболее важные проблемы человечества: экономическую и экологическую совместно.

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК**

1. Соченко П. С. Електромобіль – порятунок нашої чудової планети Земля / П. С. Соченко, К. М. Сидоренко, Аль-Амморі Алі. – К. : Наук. світ, 2012. – 75 с.
2. Б. Т. Бойко, Г. С. Хрипунов. Гелиоенергетика – будущее Украины – НТУ ХПИ, 2000г.
3. Справочник по вероятностным расчетам / Т.Т. Абезгаус, А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин и др. - М.: Воениздат, 1989. - 656 с.

#### **REFERENCES**

1. Sochenko P. S. Elektromobil` – poryatunok nashoyi chudovoyi planety` Zemlya / P. S. Sochenko, K. M. Sy`dorenko, Al`-Ammori Ali. – K. : Nauk. svit, 2012. – 75 s.
2. B. T. Boyko, G. S. Hripunov. Gelioenergetika – buduschee Ukrainyi – NTU HPI, 2000g.

3. Spravochnik po veroyatnostnyim raschetam / T.T. Abezgaus, A.P. Tron, Yu.N. Kopenkin i dr. - M.: Voenizdat, 1989. - 656 s.

#### РЕФЕРАТ

Аль-Аммори Али. Эффективность возобновляемых источников энергии / Али Аль-Аммори, И. Н. Верховецкая, Е. А. Топольсков, Е. П. Тимченко // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

В статье рассматриваются значения и роль таких рентабельных источников, как использования энергетики потоков воды и ветра, океанских приливов и отливов, тепла зеленых недр и особенно энергии Солнца. Большого внимания уделяется использованию таких возобновляемых источников энергии, как энергии солнца и ветра, которые являются практически неисчерпаемыми источниками. Оценивается реальная эффективность при условии, если используются большие комплексы маломощных источников энергии ветра и Солнца с автоматизированным управлением на основе микропроцессорной техники. Главная цель данного исследования - это популяризация электрического транспорта и применение возобновляемых источников энергии на транспорте. В перспективе этой работы целесообразно замены бензинового автотранспорта на электрический транспорт.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, МИКРОПРОЦЕССОР

#### ABSTRACT

Al-Ammouri Ali, Effectiveness of renewable energy sources/ Ali Al-Ammori, I. N. Verkhovetska, E. O. Topolskov, O. P. Tymchenko// Information process, technologies and systems on transport – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

The article discussed the importance and role of cost-effective sources, such as the use of water and wind currents energy, ocean tides, green subsurface heat and especially the solar energy. Much attention is paid to the using of renewable energy sources like solar and wind energy, which are virtually inexhaustible sources. Is estimated the real effectiveness on the condition that uses more complex low-power sources, wind and solar power with automatic control based on microprocessor technology. The main purpose of this study is to popularize electric vehicles and the use of renewable energy in transport. In perspective of this work, it is advisable to replace the gasoline vehicles to electric vehicles.

**KEYWORDS:** RENEWABLE ENERGY SOURCES, EFFECTIVENESS, MICROPROCESSOR

#### РЕФЕРАТ

Аль-Амморі Алі. Ефективність відновлюваних джерел енергії / Алі Аль-Амморі, І.М. Верховецька, Є. О. Топольськов, О. П. Тимченко// Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті –К.: НТУ – 2016. Вип. 4.

У статті розглядаються значення і роль таких рентабельних джерел, як використання енергетики потоків води і вітру, океанських припливів і відливів, тепла зелених надр і особливо енергії Сонця. Велика увага приділяється використанню таких відновлюваних джерел енергії, як енергії сонця і вітру, які є практично невичерпними джерелами. Оцінюється реальна ефективність при умові, що використовуються великі комплекси малопотужних джерел енергії вітру і Сонця з автоматизованим управлінням на основі мікропроцесорної техніки. Головна мета даного дослідження - це популяризація електричного транспорту та застосування відновлюваних джерел енергії на транспорті. У перспективі цієї роботи доцільно заміни бензинового автотранспорту на електричний транспорт.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВІДНОВЛЮВАНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, МИКРОПРОЦЕСОР.

#### АВТОРЫ

Аль-Аммори Али, д.т.н. профессор, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. (063)-226-31-44.

Верховецкая Инна Николаевна, аспирантка, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, тел. (096)-122-38-49.

Топольсков Евгений Александрович, к.т.н., доцент, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: topol@bigmir.net, тел.(050)-700-14-25.

Тимченко Елена Петровна, ассистент, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: elenatymchenko@ukr.net, тел.(063)-431-84-61.

#### AUTHORS

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. (063)-226-31-44.

Verkhovetska Inna N., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukrainian, tel. (096)-122-38-49.

Topolskov Evgeniy. A., Ph.D., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: topol@bigmir.net, tel: (050)-700-14-25.

Tymchenko Olena P., assistant, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: elenatymchenko@ukr.net, tel. (063)-431-84-61.

#### АВТОРИ:

Аль-Амморі Алі, д.т.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. (063)-226-31-44.

Верховецька Інна Миколаївна, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, тел. (096)-122-38-49.

Топольський Євгеній Олександрович, к. т. н., Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: topol@bigmir.net, тел. (050)-700-14-25.

Тимченко Олена Петрівна, асистент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: elenatymchenko@ukr.net, тел.(063)-431-84-61.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Корченко О. Г., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Кожохіна О.В, кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

#### REVIEWERS:

Korchenko A.G. Doctor of Science in Eng., Professor, Head of Academic Department of IT-Security, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Kozhohina O.V. candidate of engineering, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.



# ЕРГАТИЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ЧАСОВИХ ДАНИХ

---

УДК:004  
UDK:004

## ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ В СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО – ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Шестак Я.В., аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## RISK ASSESSMENT IN THE MODERN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Y. Shestak, PG student, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

## ОЦЕНИВАНИЕ РИСКОВ В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Шестак Я.В. аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Введение. Вопрос об оценивании информационных рисков становится все более актуальным. Сегодня построение и эффективная эксплуатация систем информационной безопасности (ИБ) невозможна без анализа и управления рисками такой системы. Ведь основной задачей данного направления является объективная идентификация угроз и оценка наиболее значимых информационных рисков для организации, а также адекватность используемых средств контроля рисков для увеличения эффективности и рентабельности деятельности предприятия.

Современным информационным системам доверяют решение самых разнообразных и важных задач; автоматизированное управление технологическими процессами и промышленными предприятиями, автоматизацию деятельности банков, финансовых бирж, страховых и торговых компаний и так далее. Растут масштабы и сложность корпоративных систем. Важность задачи обеспечения безопасности корпоративных информационных ресурсов осознана как руководством компаний, так и их клиентами. И уже недостаточным условием является организация защиты отдельных сегментов информационной системы. Исходя из этого требования информационной безопасности должны быть направлены на обеспечение оптимального режима функционирования информационной системы в целом.

Телекоммуникационные компании (ТК) - одни из самых чувствительных к надежной и безопасной работе информационных систем (ИС) - предоставляемые ими услуги практически полностью создаются на основе ИТ-решений. От этого зависит не только их качество, а значит репутация операторов связи и лояльность клиентов, но и легитимность оказания услуг. Особую важность представляют вопросы борьбы с мошенничеством и гарантирования доходов [1].

Так как на сегодняшний день компании телекоммуникационной отрасли имеют очень высокую оснащенность средствами обеспечения информационной безопасности (ИБ), на первый план выходят решения, позволяющие оптимизировать и автоматизировать процессы ИБ, повысить управляемость, обеспечить прозрачность, легитимность и катастрофоустойчивость. В связи с этим возрастает актуальность задачи сохранения стабильности работы компании. Наиболее важной составляющей решения, которой является обеспечение непрерывности функционирования бизнес-процессов. Сложность бизнес-процессов, их постоянное изменение, а также наличие большого числа разрозненных ИС приводят к тому, что традиционные способы управления правами доступа к ИТ-системам, имеющиеся в ТК, становятся неэффективными с точки зрения безопасности и затрат ресурсов.

В ТК из-за усложнения ИТ-систем увеличивается уровень рисков ИБ, что требует адекватного усиления защитных механизмов. Кроме того, в случае слияния телекоммуникационных компаний зачастую нужно оптимально провести унификацию используемых технологических средств. При этом очень важно, как выбрать оптимальные технологии, так и достичь максимальной эффективности.

Возрастание конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг провоцирует снижение денежной отдачи в расчете на одного абонента. Для компенсации этого многие операторы вводят дополнительные услуги. Предоставление услуг по ИБ может осуществляться на платной основе, однако, зачастую они являются add-on услугами и преследуют цели увеличения лояльности и повышения конкурентоспособности. В результате ТК за счет предоставления дополнительных высокотехнологичных услуг могут отстраниться от конкурентов, увеличить денежную отдачу от каждого абонента и получить конкурентные преимущества.

Обеспечение безопасности систем управления предприятием и биллинговых систем. Внедрение систем класса ERP создает конкурентное преимущество для ТК. Биллинговые системы вообще являются неотъемлемой частью ИТ-системы каждого оператора. Однако в результате автоматизации бизнес-процессов появляются дополнительные риски - риски ИБ. Это связано с возникновением новых и возрастанием уже существующих угроз безопасности, например, таких, как нарушение непрерывности автоматизированных бизнес-процессов из-за сбоев в ИТ или утечка конфиденциальной информации [2].

Состояние ИБ ТК оценивается различными регулирующими органами как соответствие нормативным требованиям и законодательным актам. Несоответствие установленным требованиям увеличивает риск возникновения претензий и применения в отношении них различных взысканий, штрафов и т.п. Сегодня важно уметь контролировать и оперативно управлять всеми процессами ИБ, поддерживать требуемый уровень ИБ, отслеживать выполнение заданных целевых показателей эффективности (KPI) обеспечения ИБ в режиме реального времени [3].

Требования к безопасности ТК устанавливаются путем методического определения рисков безопасности. Как только установлены требования к безопасности и риски, а также приняты решения по обработке этих рисков, следует выбрать и внедрить допустимые средства управления для снижения рисков до приемлемого уровня.

Минимальные (базовые) требования безопасности формулируются в общем виде, без учета категории, присвоенной ИС. Они задают базовый уровень ИБ, им должны удовлетворять все ИС ТК. Результаты категорирования важны при выборе регуляторов безопасности, обеспечивающих выполнение требований, сформулированных на основе анализа рисков.

При выборе мер для повышения уровня защиты ИС учитывается одно принципиальное ограничение: стоимость реализации этих мер не должна превышать стоимости защищаемых информационных ресурсов, а также убытков компании от возможного нарушения конфиденциальности, целостности или доступности информации.

Современные методы оценки рисков имеют ряд ограничений. Вместе с тем сам рискориентированный подход к управлению ИБ ТК представляется перспективным, в связи, с чем необходимо, во-первых, использовать имеющиеся методики в качестве источника информации для принятия решений; во-вторых, совершенствовать методы оценки рисков в направлении преодоления тех ограничений и недостатков, которыми они обладают в настоящее время.

Исходя из стандартов в области управления ИБ систем (ISO IEC 17799; ISO IEC 27001; BS 7799-3; NIST 800-30), выделяют общую для всех модель оценки рисков ИБ, где риск определяется как отображение множества угроз  $U$  на некоторое числовое множество значений меры риска  $R$ :

$$Risk: U \rightarrow R$$

В частном случае риск можно рассмотреть, как функционал угрозы:

$$Risk = f(U)$$

В общем случае не определяется, каким образом производится отображение, угроза рассматривается как абстрактный объект [4].

Но для ТК данная методика не применима, так как, по сути, этот обобщенный метод является не эффективным для анализа столь обширного числа показателей. Для крупных ТК не просто разумно, но и не обходимо применять более детальный анализ рисков ИБ, который осуществляется с помощью построения модели ИС организации, с рассмотрением средств защиты ресурсов с ценной информацией, взаимосвязь ресурсов между собой, влияние прав доступа групп пользователей, организационные меры, с применением методов моделирования для исследования защищенности каждого вида информации. В ходе анализа должны быть получены следующие данные:

- инвентаризация ресурсов;
- значения риска для каждого ценного ресурса организации;

- значения риска для ресурсов после задания контрмер (остаточный риск);
- эффективность контрмер;
- рекомендации экспертов по устранению уязвимостей системы ИБ.

Результаты оценки рисков нарушения ИБ должны документально фиксироваться.

В настоящее время для анализа рисков ИБ применяют системы, которые позволяют оценить существующие в системе риски и выбрать оптимальный по своей эффективности вариант защиты. Чаще всего данный расчёт проводят из соотношения существующих в системе рисков к затратам на ИБ. Данную задачу решают программные комплексы, разработанные для анализа и контроля информационных рисков - это британский CRAMM (компания Insight Consult-ing), американский RiskWatch (компания RiskWatch), российский ГРИФ (компания Digital Security) и АванГард (компания Института системного анализа РАН), так же на западном рынке можно встретить SISSI, COBRA, MINIRISK, Microsoft, Buddy Sys-tem, RISAN, Facilitated Risk Analysis Process -FRAP (компания Peltier and Associates), OCTAVE (разработана Software Engineering Institute at Carnegie Mellon University) [5].

Все методики, применяемые в данных программных продуктах, условно можно разделить на следующие три вида:

- методики, использующие оценку риска на качественном уровне (например, по шкале "высокий", "средний", "низкий"). таким методикам, в частности, относится FRAP;
- количественные методики (риск оценивается через числовое значение, например, размер ожидаемых годовых потерь). К этому классу относится методика RiskWatch;
- методики, использующие смешанные оценки (такой подход используется в CRAMM, методике Microsoft и т.д.).

Как количественный, так и качественный анализ рисков ИБ является одной из наиболее сложных задач в общей системе организационной и аналитической работы. Методологии анализа рисков и программные средства, реализующие эти методологии, как правило, предполагают выполнение следующих основных шагов, необходимых для формирования комплексной оценки существующих рисков:

- сбор информации об объектах защиты;
- выявление и оценка возможных угроз и уязвимостей;
- формирование сводной оценки рисков.

Основными функциями, реализуемыми программным обеспечением такого типа, являются сбор первичных данных о действиях пользователей, их автоматизированный анализ с учетом требований политики безопасности и осуществление необходимых активных действий: информирование администраторов, временное ограничение прав пользователей и тому подобное [6].

Проведя сравнение существующих систем анализа рисков ИБ, стоит отметить, что они направлены на крупные компании в общем, но ни одна из таких систем не проводит соответствия требований ИБ с мировыми стандартами применимыми в телекоммуникационной отрасли, а так же не учитывает специфические аспекты. Стоит обратить внимание на то, что большинство систем основано только на качественном или количественном методе, что само по себе уже снижает их эффективность, а работать с такими системами, как правило, могут только высококвалифицированные аудиторы, имеющие специальную подготовку от компании производителя программного продукта. Немаловажным фактором при выборе программного продукта является его стоимость, так, к примеру, стоимость лицензии CRAMM составляет от 2000 до 5000 \$ за одно рабочее место, RiskWatch от 10 000 \$ за одно рабочее место, Российский аналог ГРИФ от 1000 \$ за одно лицензированное рабочее место, правда он не эффективен без своего дополнения КОНДР, на которое тоже нужно приобретать лицензию.

Для ТК и не только, главное - всегда четко понимать, что система ИБ создана на основе анализа информационных рисков, проверена и обоснована. Анализ и управление информационными рисками ключевой фактор для построения эффективной защиты ИС. При грамотной организации система ИБ может реализоваться в конкурентное преимущество, повысить инвестиционную привлекательность ТК, наладить бизнес-процессы и улучшить имидж оператора.

Стоит отметить, что любая система управления ИБ ТК имеет свою техническую и организационную составляющую. Рассмотрим основную методику работы системы ИБ, применяемую в ТК на сегодняшний день. Как правило, основным техническим звеном системы управления ИБ в ТК является - подсистема ИБ, которая является органичной частью автоматизированных ИС ТК (к примеру, биллинговых). В рамках подсистемы ИБ функционируют средства защиты от несанкционированного доступа, средства криптографической защиты, средства антивирусной защиты, средства мониторинга эффективности защиты.

В рамках организационной составляющей выполняются следующие функции управления:

- организация и оперативное решение задач по защите информации;
- подбор и руководство кадрами по защите информации;
- материально-техническое обеспечение решения задач по защите информации (приобретение установка и наладка программных и технических средств защиты информации);
- контроль состояния защищенности автоматизированных ИС ТК и планирование мероприятий по защите автоматизированных ИС и развитию подсистемы ИБ;
- проведение мероприятий по повышению защищенности ИС ТК и развитию подсистем ИБ, включая управление проектами по внедрению сложных систем и проведение комплексных мероприятий по защите информации.

Наиболее специфическими, требующими для своей реализации специального инструментария, функциями являются - контроль текущего состояния защищенности автоматизированных ИС в ТК и планирование мероприятий по защите этих систем и развитию подсистем ИБ. Подробнее стоит рассмотреть задачи, которые решаются при выполнении указанных функций.

Основной задачей контроля является оценка текущей защищенности подсистем ИБ. В худшем случае такую оценку можно выполнить, основываясь лишь на статистике произошедших случаев нарушения ИБ, и принимать меры, которые позволяют “штопать” появляющиеся “дыры”. Но в этом случае ТК не застрахованы от самых больших неприятностей в будущем, поскольку при таком подходе остается только надеяться на, то что в текущем отчетном периоде не произойдет чего-то такого, что будет на много хуже, чем то, что произошло в прошлом отчетном периоде. Такой подход не вписывается в рамки эффективного управления ИБ. Эффективное управление ИБ возможно только на основании системного и систематического подхода к контролю и планированию развития систем защиты информации ТК, что, в свою очередь, предполагает решение целого комплекса задач, выполняемых в несколько этапов [7].

Прежде всего, должны быть определены те объекты автоматизированных ИС ТК, безопасность которых может быть нарушена, или, используя недостатки, которых, нарушитель может нанести ущерб пользователям и владельцам ТК. Это так называемый этап структурного описания всех автоматизированных ИС ТК.

Затем, для каждого из идентифицированных объектов должен быть определен перечень угроз с ним связанных, выявлены недостатки, которыми может воспользоваться нарушитель. На этом этапе целесообразно использовать для анализа разного рода нормативные требования по защите, такие как требования Гостехкомиссии, ФАПСИ, «Общие критерии оценки безопасности информационных технологий» и т.п. Это так называемый этап построения нормативной модели угроз. После необходимо провести анализ того, насколько опасны идентифицированные угрозы для ТК в целом. Для этого необходимо построить модели событий рисков нарушения ИБ в автоматизированных ИС (заметим, что не автоматизированные компоненты ТК не рассматриваются при построении обобщенной модели рисков, хотя тоже несут в себе массу угроз и уязвимостей для ИБ). При построении моделей рисков ИБ ТК должны быть определены и подробно описаны события риска, их последствия и угрозы (недостатки) из модели угроз, автоматизированных ИС, наличие которых обуславливает возможность реализации событий риска. При этом необходимо рассмотреть, как можно большее количество вариантов событий рисков, отражающих то, как к рассматриваемому событию риска могут привести не одна, а сразу несколько угроз или недостатков в защите автоматизированных ИС ТК. По каждой модели нужно представить ущерб в денежном выражении, или, в тех случаях, когда это невозможно, кардинально ранжировать по нежелательности (опасности) событий рисков все идентифицированные риски, в общем ряду с теми, по которым даны оценки в денежном выражении. Далее, необходимо дать оценки того, насколько велика вероятность события риска, и, если есть статистические данные, указать насколько часто случаи такого рода, как событие риска, имеют место.

При этом так же в ряде ТК используется подход, основанный на кардинальном ранжировании событий рисков в зависимости от вероятности их наступления. На основании полученных экспертных данных можно оценить ожидаемый ущерб от каждого из событий рисков, как математическое ожидание указанной (или рассчитанной в результате кардинального ранжирования) величины ущерба.

Построение моделей рисков позволяет оценить опасность каждой из угроз и определить приоритетность мер по защите автоматизированных ИС и развитию подсистем ИБ ТК. Наиболее важные из указанных угроз будут образовывать модель значимых угроз ИС ТК. Таким образом, решаются задачи первого этапа контроля и планирования развития защиты автоматизированных ИС ТК.

Следующим этапом является определение возможностей по защите и планирование конкретных мероприятий. По каждой из выявленных угроз может быть определен целый перечень требований, которые необходимо выполнить для того, чтобы добиться ее устранения, и перечень мероприятий, с помощью которых можно добиться выполнения этих требований. Стоимость отдельных мероприятий может быть весьма значительной. В то же время, некоторые мероприятия могут обеспечивать защиту более чем от одной угрозы. Поэтому необходимо провести анализ по критерию “эффективность-стоимость” всех возможных комплексов мероприятий и, при необходимости, решить задачу выбора наиболее эффективного комплекса, который можно выполнить в рамках выделенного объема финансирования защитных мероприятий. Все эти задачи решаются при помощи специальных программных инструментально-экспертных систем.

Стоит отметить, что рассмотренный выше метод, применяемый в ТК для ИБ, не совершенен, так как проводит анализ рисков только для автоматизированных ИС ТК и отдельных подсистем ИБ, а не показывает картину в целом. Именно поэтому для эффективной защиты ИБ ТК от угроз ИБ необходимо применение специализированных ИС, применяемых для анализа рисков, угроз уязвимостей ИБ. сфере ИБ ТК оценка рисков играет такую же первостепенную роль, как и во всех других областях человеческой деятельности. Из-за неадекватной оценки рисков, связанных с осуществлением угроз ИБ в современном высокотехнологичном обществе, государство, ТК и отдельные потребители услуг несут весьма ощутимый ущерб, подсчитать который вряд ли кому-либо удастся.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Решения для телекоммуникационных компаний. Преимущества подхода центра информационной безопасности компании «Инфосистемы Джет», [Электронный ресурс/] Инфосистемы Джет – Режим доступа: [http://www.jet.msk.ru/services\\_and\\_solutions/information\\_security/solutions\\_catalog/telecom/index.php?print=y-Загл](http://www.jet.msk.ru/services_and_solutions/information_security/solutions_catalog/telecom/index.php?print=y-Загл).
2. Губарева О.Ю. Обзор методик анализа рисков информационной безопасности информационной системы предприятия. Т-comm Серия: Телекоммуникации и транспорт. - М., 2012, №6.
3. Черешкин Д.С., Кононов А.А., Бурдин О.А. Экспертная система оценки рисков нарушения информационной безопасности для систем управления информационной безопасностью [Текст] / Д.С. Черешкин // Проблемы управления информационной безопасностью. - 2002. - 192 с.
4. Окснюк А.Г. Процедура мониторинга элемента сети на сетевом уровне / [А.Г. Окснюк, В.И. Вялкова, В.А. Мищенко, З.К. Шелемин] // Киев: НКПСИ - С.-25-26.
5. Вялкова В.І. Політика безпеки інформації операційної системи / В.І. Вялкова, О.Г. Окснюк. // Зб. наук. доп. та тез КНУ ім. Т. Шевченка. – 2015 – С.126.
6. Анализ методов оценки рисков информационной безопасности [электронный ресурс] // - режим доступа: <http://igorosa.com/analiz-metodov-ocenki-riskov-informacionnoj-bezopasnosti/>
7. Спортак М. Компьютерные сети и сетевые технологии / М. Спортак. - Диасофт-ЮП. 2005. - 720с.

#### REFERENCES

1. Solutions for telecommunication companies. The advantages of the approach information security center company "Jet Infosystems", [Electronic resource /] Infositemy Jet – Access: [http://www.jet.msk.ru/services\\_and\\_solutions/information\\_security/solutions\\_catalog/telecom/index.php?print=y-Загл](http://www.jet.msk.ru/services_and_solutions/information_security/solutions_catalog/telecom/index.php?print=y-Загл).
2. Gubareva O.J. Review of methods of information security risk analysis, enterprise information system. T-comm Series: Telecommunications and Transportation. - M., 2012, №6.
3. Chereshekin D.S, Kononov A.A., Burdin O.A. Expert system of information security risk assessment for violation of information security management systems [Text] / D.S Chereshekin // Information Security Management Challenges. - 2002. - 192 p.
4. Oksiuk A.G. The procedure for monitoring the network element in the network layer / [A.G. Oksiuk, V.I. Vyalkova, V.A. Mishchenko, Z.K. Shelemin] // Kyiv: NCCIR - C.-25-26.
5. Vyalkova V.I. Policy Information Security operating system / V.I. Vyalkova, O.G. Oksiuk. // Coll. Science. ext. and reports KNU. Taras Shevchenko. - 2015 - p.126.
6. Analysis of information security risk assessment methods [electronic resource] // - Infositemy Jet – Access: <http://igorosa.com/analiz-metodov-ocenki-riskov-informacionnoj-bezopasnosti/>
7. Spartak M. Computer networks and network technology / M. Spartak Moscow. - Diasoft-UP. 2005. - 720с.

#### РЕФЕРАТ

Шестак Я.В. Оцінювання ризиків в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах / Я.В. Шестак // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ – 2016. – Вип. 4.

Обговорюються актуальні проблеми оцінювання ризиків в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах. У даній статті проаналізовані сучасні системи аналізу ризиків інформаційної безпеки. Даються рекомендації з управління ризиками інформаційної безпеки. Розглядаються сучасні методи оцінки ризиків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА, ІТ-СИСТЕМА, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА КОМПАНІЯ, ЗАГРОЗА, РИЗИК.

#### ABSTRACT

Y. Shestak. Risk Assessment in the modern information and telecommunication systems. / Shestak Y. // Information processes, technologies and systems to transport. - K.: NTU - 2016 – Vol. 4.

We discuss the current risk assessment issues in modern information and telecommunication systems. This article analyzes the current information security risk analysis system. Recommendations for Information Security Risk Management. We consider the current risk assessment methods.

KEYWORDS: INFORMATION SECURITY, IT-SYSTEM, INFORMATION SYSTEM, TELECOMMUNICATIONS COMPANY, THREAT, RISK.

#### РЕФЕРАТ

Шестак Я.В. Оценивание рисков в современных информационно-телекоммуникационных системах / Шестак Я.В. // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вип. 4.

Обсуждаются актуальные проблемы оценивания рисков в современных информационно-телекоммуникационных системах. В данной статье проанализированы современные системы анализа рисков информационной безопасности. Даются рекомендации по управлению рисками информационной безопасности. Рассматриваются современные методы оценки рисков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ИТ-СИСТЕМА, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА КОМПАНІЯ, УГРОЗА, РИСК.

#### АВТОР:

Шестак Яніна Володимирівна, аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, e-mail: lucenko.y@ukr.net, Україна, 03022, Київ, вул. Ломоносова, 81, кімн. 105, тел. 0673694241

#### AUTHOR:

Shestak Yanina Volodymyrivna, PG student, Taras Shevchenko National University of Kyiv, e-mail: lucenko.y@ukr.net, Ukraine, 03022, Kyiv, Lomonosova str. 81, app. 105, tel.0673694241

#### АВТОР:

Шестак Янина Владимировна, аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, e-mail: lucenko.y@ukr.net, Украина, 03022, Киев, ул. Ломоносова, 81, к. 105, 0673694241

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Корченко О. Г., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

Снитюк В.Є., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних та інформаційних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка..

#### REVIEWERS:

Korchenko A.G. Doctor of Science in Eng., Professor, Head of Academic Department of IT-Security, National Aviation University.

Snytyuk V.E., Doctor of Technical Science, professor, head of Department of Intellectual and Information Systems, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine..

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ  
ДАННЫХ О ПОЖАРАХ НА БОРТУ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Дегтярева А. О., аспирантка, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

INFORMATION TECHNOLOGY FOR ANALYSIS THE STATISTICS OF AIRCRAFT  
ONBOARD FIRES

Degtiarova A.O., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПРО ПОЖЕЖІ НА  
БОРТУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Дегтярьова А.О., аспірантка, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Введение

Анализ авиационных происшествий гражданских транспортных самолётов показал, что 56% катастроф происходит на этапах взлёта, захода на посадку и посадки, а исследования динамики разрушения самолётов при аварии свидетельствуют, что основными факторами, приводящими к жертвам при авиационных происшествиях транспортных самолётов, являются силы, действующие при ударе и пожар.

Статистика авиационных пожаров показывает, что 30% из них возникает в воздухе, а 70% на земле. Пожары в воздухе могут произойти вследствие различных конструктивных и технологических недостатков: неисправности системы питания, течи баков и других. Иногда пожары являются следствием того, что при конструировании самолета не учитываются основные противопожарные требования или вследствие нарушения экипажем правил противопожарной безопасности [1, 2]. Несмотря на обширную статистику по авиационным происшествиям и катастрофам определения статистической доли авиационных пожаров, особенно пожаров авиадвигателей, является очень сложным процессом.

Основная часть

Следует отметить, что неопределенность определения статистической доли авиационных пожаров не является производственным или конструктивным недостатком, а вызвана прежде всего тем, что определения начальной стадии возникновения любого пожара, особенно пожара авиадвигателя, представляет собой процес со значительным неопределенным начальным моментом [2].

Неопределенность начального момента вызвана значительной сложностью его начальной идентификации (распознавания), многофакторностью, внезапностью его возникновения.

Основными источниками пожарной опасности при эксплуатации самолетов являются:

- результаты утечки и попадания на нагретые элементы конструкции горючих жидкостей из топливной, масляной и гидравлической систем;
- разрушения двигателя,
- поражения молнией;
- открытое пламя;
- поверхности, нагретые до высоких температур;
- электрические разряды, возникающие от статического электричества.
- сложностью и неопределенностью возникновения и развития процессов горения;
- несовершенством конструкции систем датчиков и самих комплексов пожаротушения;
- множественностью мест возникновения и неопределенность локализации места возникновения пожара.

Так, например, в таблице 1. показано 17 мест локализации возможных предпосылок к пожарам для самолетов ИЛ-62 и ТУ-154 различных модификаций.

Заметна неоднородность возникновения пожаров в различных местах самолета и в конструкции двигателя. Лопатки компрессора, рабочие лопатки турбины, подшипники вала турбины являются более уязвимыми местами, так как они находятся в постоянном движении со значительными скоростями и являются причинами “титановых” пожаров, которые составляют примерно 55% от всего комплекса отказов АД. [3, 4].

Таблица 1 – Возможные предпосылки к пожарам для самолетов ИЛ-62 и ТУ-154.

| №  | Отказ – причина пожара                     | Количество АП |
|----|--------------------------------------------|---------------|
| 1  | Корпус компрессора                         | 3             |
| 2  | Диск компрессора                           | 2             |
| 3  | Рабочая лопатка компрессора                | 15            |
| 4  | Крепление ротора компрессора               | 1             |
| 5  | Подшипник вала ротора                      | 8             |
| 6  | Вал ротора компрессора                     | 1             |
| 7  | Рабочее колесо компрессора                 | 1             |
| 8  | Лопатка направляющего аппарата компрессора | 1             |
| 9  | Кожух (обтекатель капот турбины)           | 1             |
| 10 | Лопатка соплового аппарата турбины         | 2             |
| 11 | Крепление лопаток соплового аппарата       | 1             |
| 12 | Рабочая лопатка турбины                    | 8             |
| 13 | Вал турбины                                | 1             |
| 14 | Масляно-воздушное уплотнение турбины       | 7             |
| 15 | Подшипник вала турбины                     | 12            |
| 16 | Вентилятор турбины                         | 2             |
| 17 | Замок лопаток соплового аппарата           | 1             |

Авиационные топлива самовоспламеняются при температуре 230–240С. Температура горения топлива достигает 1100С, температура плавления алюминиевых сплавов – 650С, сталей – 1500С, и в условиях пожара живучесть элементов конструкции не превышает 1–5 мин. Тушение пожара на борту осложняется тем, что прямой доступ человека в зону пожара во многих случаях невозможен.

Пожары самолетов на земле чаще всего возникают при их заправке или запуске моторов. В среднем 40% пожаров оканчиваются разной степени повреждениями машины. В прочих случаях самолеты приводятся в полную негодность.

Рассмотрим более подробную статистику отказов и неисправностей, которые являются предпосылками к пожарам для двигателей семейства “НК” [2, 3, 4]. Таблице 2. показано распределение видов повреждений проточной части двигателей НК-8-2У Внуковского ПО.

Таблица 2 – Распределение видов повреждений проточной части двигателей НК-8-2У

| №  | Наименование повреждений и неисправностей | %  |
|----|-------------------------------------------|----|
| 1  | Забоины лопаток компрессора               | 36 |
| 2  | Вмятины, погнутости лопаток               | 18 |
| 3  | Трещины, сколы лопаток компрессора        | 3  |
| 4  | Разбандажирование компрессора             | 4  |
| 5  | Выкрашивание, сколы спецслоя              | 6  |
| 6  | Трещины элементов камеры сгорания (КС)    | 1  |
| 7  | Обрыв дефлектора штуцера п-да т.          | 1  |
| 8  | Закоксованность топливных форсунок        | 4  |
| 9  | Прогар лопаток турбины                    | 2  |
| 10 | Забоины лопаток турбины                   | 4  |
| 11 | Погнутость лопаток турбины                | 1  |
| 12 | Трещины, обрыв лопаток турбины            | 1  |
| 13 | Низкий запас по Гду, помпаж               | 1  |
| 14 | Внутреннее разрушение двигателя           | 1  |
| 15 | Повышенная вибрация двигателя             | 3  |
| 16 | Прогар лопаток турбины                    | 2  |
| 17 | Обрыв заклепок камеры сгорания            | 1  |

Из данных, приведенных в таблице 2., следует, что большая часть повреждений проточной части двигателя, приводящих к его отказу, приходится на узел компрессора (38 – 76%), а почти все остальное – на камеру сгорания и турбину, которые являются пожароопасными местами. Внезапные отказы



компрессора в значительной мере обусловлены попаданием посторонних предметов в проточную часть. В отличие от компрессора, отказы таких узлов, как камеры сгорания и турбины связаны, как правило, с развитием процессов накопления повреждений, которые могут быть основными источниками “титановых” пожаров [2].

Рассмотрим статистику пожаров (1993 – 2015 г.), собранную по различным материалам, как функции от времени, так и по месту возникновения пожаров. На рис. 1. видно, что статистическая доля пожаров авиадвигателей в общей доле пожаров составляет 66%. На рис. 2. показано, что количество случаев возникновения пожаров монотонно развивается как линейная прогрессия, поэтому рассмотрение всего комплекса вопросов, связанных с пожарами и выявлением причин, вызывающих опасные ситуации, является актуальной проблемой для настоящей и будущей авиации.

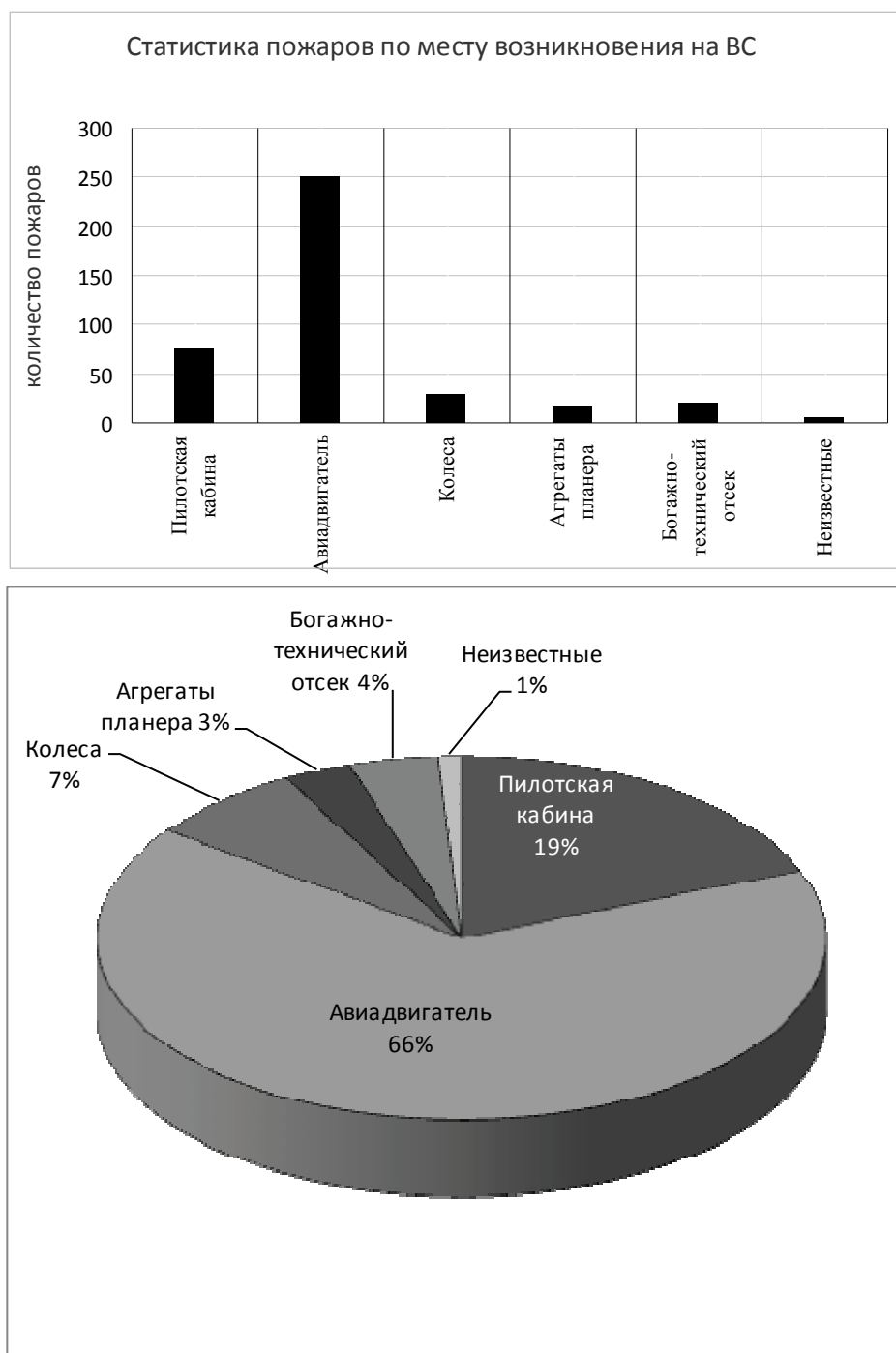


Рисунок 1 – Анализ статистических данных о пожарах по месту возникновения

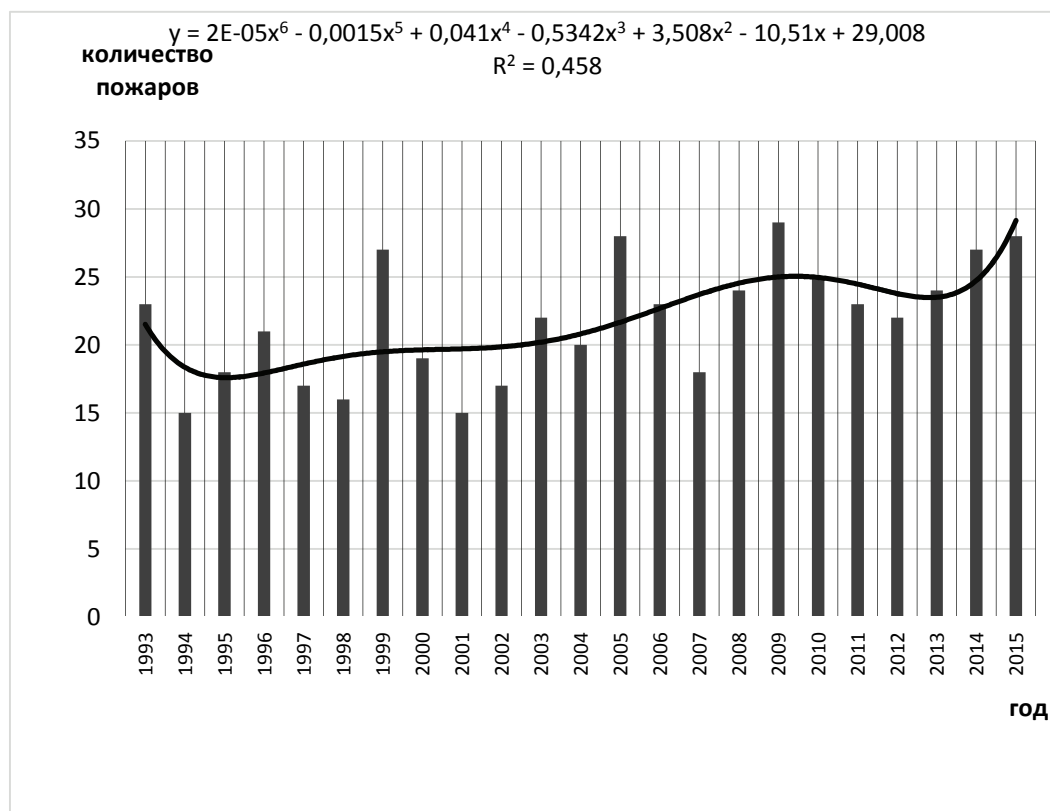


Рисунок 2 – Распределение пожаров и аппроксимации по данным зарубежной печати

К числу наиболее опасных отказов двигателей в 1991г. по данным Министерства транспорта Российской Федерации, Департамента воздушного транспорта и ГосНИИГА, относятся :

- нелокализованные разрушения двигателей Д-30КУ, Д-30КУ-154, НК-8-2У(3 инц.);
- титановые пожары двигателей АИ-25(2 инц.);
- выключения двигателей Д-36 при взлетах самолетов Як-42 с мокрых ВПП(4 инц.);
- выключение двигателей ТВ2-117А вертолетов МИ-8 при попадании в них снега и воды(5 инц.)

Количество ложных срабатываний сигнализации “ПОЖАР” превысило количество нормальных срабатываний в 2.1 раза.

На рис.3. показано распределение отказов системы пожаротушения на самолетах ТУ-154 и их процентная оценка, которая является доказательством того, что, в основном, отказы происходят из-за несовершенства систем сигнализации.

По принципу действия пожарные системы на всех типах ВС практически одинаковые. Они включают систему сигнализации и систему тушения пожара. Система сигнализации предназначена для того, чтобы своевременно обнаружить пожар, предупредить о его появлении экипаж и автоматически привести в действие первую очередь системы тушения пожара. Система тушения пожара необходима для размещения потребного количества огнегасящего вещества на борту ВС и обеспечения подачи его из баллонов к очагу пламени.

На самолетах ТУ-154(М) в 1991 г. из 10 инцидентов, происшедших из-за срабатывания сигнализации “ПОЖАР”, 9 являлись следствием ложного срабатывания сигнализации.

Если система пожаротушения включена на автоматический режим, то одновременно с сигнализацией о пожаре включается первая очередь пожаротушения. Если через 10 сек. после включения первой очереди огнетушителей табло «Пожар» продолжает гореть (пожар не ликвидирован), вручную включается вторая очередь огнетушителей. Если через 10 сек. после включения второй очереди огнетушителей табло «Пожар» продолжает гореть, вручную включается третья очередь огнетушителей. Если пожар ликвидирован после включения первой очереди или первой и второй очереди, систему приводят в исходное положение на случай повторного применения.

Учитывая то, что пожары являются маловероятными событиями и авиационные двигатели представляют собой высоконадежные системы, получить оптимальную интервальную оценку надежности по пожарам в информационном аспекте невозможно. Это говорит о чрезвычайной сложности локализации и ликвидации пожаров авиадвигателей.

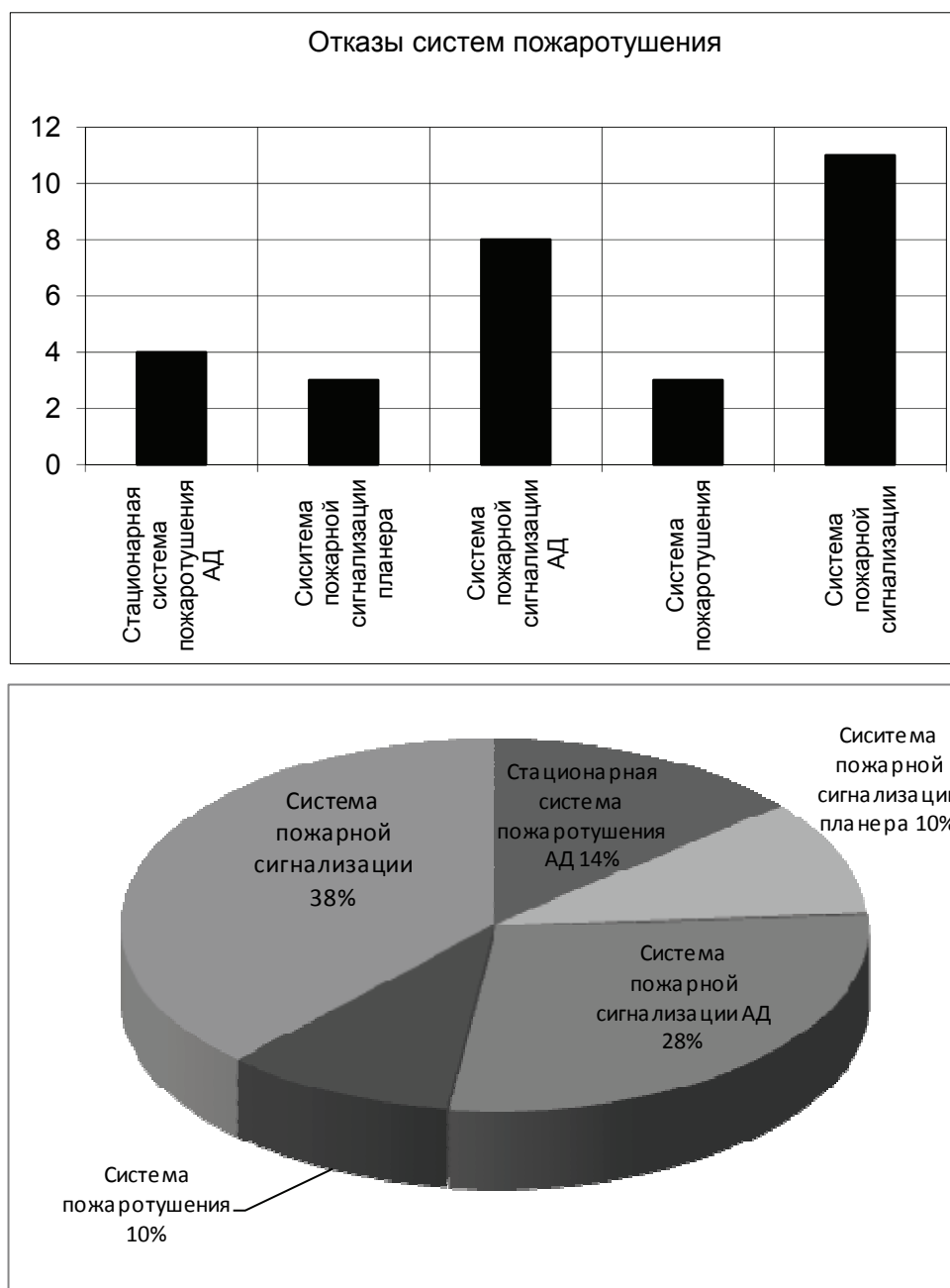


Рисунок 3 – Статистическая оценка отказов систем пожаротушения

Таким образом, проблема является актуальной с практической точки зрения и требует специального анализа и вывода для процесса проектирования, производства и эксплуатации.

Титановые пожары являются следствием отрицательных свойств титановых сплавов, которые широко применяются в современных авиадвигателях, поэтому не обходимо рассмотреть проблему так называемых “титановых пожаров” [2]. Применение титановых сплавов в некоторых типах авиадвигателей представлено в таблице 3.

Результаты анализа аварийности на авиалиниях мира из-за пожаров двигателей приведены в табл. 3. Особое внимание уделялось случаям нелокализованного разрушения отдельных частей двигателя, сопровождающегося пожаром двигателя и, как следствие, отказов систем и агрегатов, расположенных в мотогондоле и в непосредственной близости от двигателя [2, 3, 4].

В результате проведенного поиска за период 2000 – 2010 гг. было зарегистрировано 39 случаев обрыва лопаток КВД, 6 из них вызвали “титановый” пожар:

- 26 случаев обрыва лопаток IV ступени,
- 8 случаев обрыва лопаток VII ступени,
- 2 случая обрыва лопаток IX ступени,
- 1 случай обрыва лопаток VI ступени.

На лопатках IV ступени находится РНА, а над лопатками VII ступени клапаны перепуска воздуха, поэтому эти ступени более напряженные и более чувствительные к забоинам. Титановые сплавы более чувствительны к концентрациям напряжений.

Таблица 3 – Применение титановых сплавов в АД

| Название двигателя и тип ВС            | Части двигателя, изготовление из титана и его сплавов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Д-30КУ                                 | В компрессоре низкого давления: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лопатки 1-й ступени (BT3-1)</li> <li>• диски ротора(BT3-1)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Д-30 П серии (ТУ-154м, Ил-62м, ТУ-134) | Во 2-м каскаде компрессора НД: <ul style="list-style-type: none"> <li>- наружное кольцо (BT3-1)</li> <li>- направляющие лопатки (BT3-1)</li> <li>- обечайка, фланец, кольца (OT4-1)</li> <li>- лопатки направляющих аппаратов (с 1 по 9 ступени BT3-1)</li> <li>- корпус перепуска воздуха</li> <li>- в роторе 2-го каскада компрессора первые 8 дисков 8 ступеней (BT3-1)</li> </ul> |
| НК-8-4 (Ил-62)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Направляющий аппарат 1-й ступени (статор) компрессора НД</li> <li>- Направляющий аппарат II и III ступени внутреннего контура (BT3-1)</li> <li>- Лопатки этих направляющих аппаратов (OT4-1)</li> <li>- Входной направляющий аппарат(с лопатками BT-6)</li> </ul>                                                                            |
| PW 2037 (Boeing 757)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вентилятор с 36 рабочими лопатками</li> <li>- Ротор</li> <li>- Лопатки ротора</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2500(A-320)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вентилятор</li> <li>- Входной направляющий аппарат</li> <li>- Передний силовой корпус</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                             |

Титановые сплавы марок BT-3, BT-1, BTБ-1, BT-5, BT-6 широко применяются в конструкции планера и силовых установок (СУ) современных ВС. Это обусловлено рядом высоких механических, антикоррозийных свойств, небольшой массой и долговечностью изделий из титановых сплавов. Однако, наряду с положительными факторами, этим сплавам присуща при определенных условиях высокая химическая активность. При температуре свыше 1200 С<sup>0</sup> металл вступает в химическую реакцию с кислородом, образуя окись TiO<sub>2</sub>, при этом температура реакции составляет 3093 С<sup>0</sup>. Реакция окисления происходит до тех пор, пока есть доступ кислорода. Механизм развития такого рода пожара, получившего название “титановый” пожар, полностью не изучен в виду сложности проведения огневых испытаний и скоротечности процесса горения.

#### Выводы

1. Повышение достоверности получаемой экипажем информации о наличии пожара в контурах СУ является актуальной научной проблемой, требующей обоснованного и строгого разрешения.
2. Высокая и своевременная информативность контроля необходима особенно при первых моментах появления пожаров.
3. Высокая техническая надежность и экономическая эффективность системы сигнализации, обусловленная, прежде всего, простой технической реализации на микропроцессорной основе.
4. Большая емкость информации контроля благодаря эффективной алгоритмической обработке, обеспечивает экипажу удобную ориентацию в опасных полетных ситуациях.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Лужецкий В.К. Противопожарная защита самолетов гражданской авиации. – Москва: Транспорт, 1987. – 144с.
2. Аль-Амморі А. Н., Соченко П.С., Аль-Амморі О.М., Дагман Я. Поліфакторні способи аналізу небезпечних польотних ситуацій. - Київ, 2000.- 56с. (НАН України, Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова).
3. Кулик Н.С. Параметрические методы оценки технического состояния авиационных ГТД в эксплуатации. -Киев: КИИГА, 1993. – 139с.

4. Дмитриев С.А. Диагностирование проточной части газотурбинных двигателей на переходных режимах работы. – Киев:КМУГА, 1996. – 120с.

#### REFERENCES

1. Luzhetskii V.K. Protivopozharnaya zaschita samoletov grazhdanskoy aviatsii. – Moskva: Transport, 1987. – 144s.
2. Al-Ammouri A. N., Sochenko P.S., Al'-Ammori O.M., Dagman Ja. Polifaktorni sposobi analizu nebezpechnih pol'otnih situacij. - Kiïv, 2000.- 56s. (NAN Ukraini, Institut kibernetiki im. V.M.Glushkova).
3. Kulik N.S. Parametricheskie metodyi otsenki tehničeskogo sostoyaniya aviatsionnyih GTD v ekspluatatsii. -Kiev: KPIGA, 1993. – 139s.
4. Dmitriev S.A. Diagnostirovanie protočnoy chasti gazoturbinnnyih dvigateley na perehodnyih rezhimah raboty. – Kiev:KMUGA, 1996. – 120s.

#### РЕФЕРАТ

Дегтярева А.О. Информационные технологии анализа статистических данных о пожарах на борту воздушных судов/ А.О. Дегтярева // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

В статье рассматриваются пожары авиационных двигателей как не просто случайная ситуация, а как ситуация, которая характеризуется как сложное или полифакторное явление и процесс, который несет значительную степень риска и предельную неопределенность для процесса полета ВС. Неопределенность начального момента возникновения любого пожара двигателя приводит к тому, что функция принятия решения командира воздушного судна и экипажем становится технологически и операционно предельно сложной, поэтому даже простые операции и сенсомоторные движения во время внезапного и неожиданного возникновения пожара выполнять экипажу весьма тяжело. Пожары двигателей не представляют собой однородную группу событий, поэтому классификация пожаров двигателей является достаточно сложной, а признаки классификации пожаров значительно и качественно труднораспознаваемые.

Анализ статистических данных показывает что, доля пожаров среди других авиационных происшествий характеризуется значительной величиной (до 40%), относительной многолетней статистичностью, неизменностью этой доли по годам, а также малой величиной тренда, и малыми значениями колебаний и флуктуаций по трендам анализа и годам сравнения. Это объясняется, прежде всего сложностью начального момента возникновения пожаров двигателей и предельной технологической сложностью функции принятия решений экипажем.

Среди пожаров двигателей наиболее опасной разновидностью пожаров является "титановый" пожар двигателя, специфика которого состоит в том, что он является наиболее скоротечен и трудноустранимым.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СТАТИСТИКА АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ, ПОЖАР, СИГНАЛИЗАЦИЯ О ПОЖАРЕ, ДОСТОВЕРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ.

#### ABSTRACT

Degtiarova A.O. Information technology for analysis the statistics of aircraft onboard fires/ A.O. Degtiarova // Information process, technologies and systems on transport – K.: NTU, 2016. – Vol. 4.

This article discusses the aircraft engines fires is not just a random situation, but the situation, which is characterized as a complex and multifactorial phenomenon and process that carries a significant degree of risk and uncertainty limit for aircraft flight process. The uncertainty of the initial moment of the occurrence of any fire engine leads to the fact that the function of the decision of the aircraft commander and the crew becomes technologically and operationally very complex, so even simple operations and sensorimotor movement during sudden and unexpected fire crew to perform very hard. Engines fires are not a homogeneous group event, so the classification of engines fires is quite complex, and the signs of the classification of fires and the quality is much hardly recognized.

Analysis of statistical data shows that the proportion of fires among other aviation accident is characterized by a considerable quantity (to 40%), the relative randomness of many years, the immutability of this share over the years, as well as the small size of the trend, and low values of vibrations and thermal fluctuations on trends analysis and data comparisons. This is explained, first of all, the complexity of the initial moment of engines fires and limit the technological complexity of the decision-making function of the crew.

"Titanium" engines fire is most dangerous kind of engines fire. The specificity of "titanium" engines fire is that it is the most fleeting and intractable.

KEYWORDS: ACCIDENT STATISTICS, FIRE, FIRE WARNING, RELIABILITY OF INFORMATION

#### РЕФЕРАТ

Дегтярьова А.О. Інформаційні технології аналізу статистичних даних про пожежі на борту повітряних суден/ А.О Дегтярьова // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті –К.: НТУ – 2016. Вип. 4.

У статті розглядаються пожежі авіаційних двигунів як не просто випадкова ситуація, а як ситуація, яка характеризується як складне або поліфакторне явище і процес, який несе значний ступінь ризику і граничну невизначеність для процесу польоту ПС. Невизначеність початкового моменту виникнення будь-якої пожежі двигуна призводить до того, що функція прийняття рішення командиром повітряного судна та екіпажем стає технологічно і операційно гранично складною, тому навіть прості операції і сенсомоторні рухи під час раптового і несподіваного виникнення пожежі виконувати екіпажу досить важко. Пожежі двигунів не є однорідною групою подій, тому класифікація пожеж двигунів є досить складною, а ознаки класифікації пожеж значно, якісно і важко розпізнаваними.

Аналіз статистичних даних показує що, частка пожеж серед інших авіаційних подій характеризується значною величиною (до 40%), відносною багаторічною статистичністю, незмінністю цієї частки по роках, а також, малою величиною тренда, і малими значеннями коливань і флуктуації по трендам аналізу і рокам порівняння. Це пояснюється, перш за все складністю початкового моменту виникнення пожеж двигунів і граничною технологічною складністю функції прийняття рішень екіпажем.

Серед пожеж двигунів найбільш небезпечним різновидом пожеж є "титанова" пожежа двигуна, специфіка якого полягає в тому, що він є найбільш швидкоплинним та його важко усунути.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТАТИСТИКА АВІАЦІЙНИХ ПРИГОД, ПОЖЕЖА, СИГНАЛІЗАЦІЯ ПРО ПОЖЕЖУ, ДОСТОВІРНІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ.

#### АВТОР

Дегтярева Анастасия Олеговна, аспирантка, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, тел. (063)-057-88-74.

#### AUTHOR

Degtiarova Anastasiia O., postgraduate student, National Transport University, Kyiv, Ukrainian, тел. (063)-057-88-74.

#### АВТОР:

Дегтярьова Анастасія Олегівна, аспірантка, Національний транспортний університет, Київ, Україна, тел. (063)-057-88-74.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, професор кафедри аеропортів Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Ляхов О.Л., доктор технічних наук, професор, Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

#### REVIEWERS:

Petrashkevsky O.L., Doctor of Technical Science, professor, Professor of Department of Airports in National Transport University, Kyiv, Ukraine

Liakhov O. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical Yuriy Kondratuk University, Poltava, Ukraine.

УДК 621.192 (035)  
UDK 621.192 (035)

## ОШИБКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ

Грибов В.М, кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев,  
Украина

Кожохина Е.В, кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев,  
Украина

## PREDECTION ERROR OF LONG-TERM APPLICATION RESTORABLE SYSTEM RELIABILITY WITH THE USE OF THE EXPONENTIAL FAILURE MODEL

Gribov V.M candidate of engineering, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Kozhohina O.V candidate of engineering, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

## ПОМИЛКИ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ВІДМОВ

Грібов В.М, кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Кожохіна О.В, кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Вступление. Современная элементная база – изделия электронной техники – обладает достаточно высокой надежностью. В связи с этим ожидаемые показатели надёжности, необходимые разработчикам технических систем, могут быть оценены только параметрическим методом, то есть путем использования соответствующих теоретических моделей распределения наработки до отказа. При этом методические погрешности, обусловленные теоретической моделью, могут иметь весьма большие значения. Общепринято для решения задач надёжности электронных изделий и систем применяют однопараметрическое экспоненциальное распределение. Однопараметричность модели, с одной стороны, упрощает решение задач надёжности, с другой стороны, накладывает на модель ряд существенных ограничений и делает ее весьма грубо приближенной. Это и является причиной огромных методических погрешностей при решении основных задач надёжности. Оценки этих погрешностей показаны в работе [1] для начального периода эксплуатации систем (до появления первого отказа).

Данная статья обобщает материалы исследования надёжности на интервале длительной эксплуатации систем (десятки и сотни тысяч часов) и иллюстрирует те существенные погрешности, которые сопровождают дальний прогноз надёжности на основе экспоненциального распределения. Представлены также примеры малоизвестных возможностей вероятностно-физической (ВФ-) технологии исследования надёжности [2, 3], выполненные в информационном пакете *Mathcad* на конкретных примерах систем аэрокосмического назначения.

Причины неадекватности экспоненциальной модели в расчётах надёжности.

Отождествление интенсивности отказов с параметром потока отказов, имеющим место в *EXP*-практике многих исследователей, является основной причиной неадекватности оценок надёжности в условиях продолжительной эксплуатации восстанавливаемых систем, то есть при наличии потока отказов на интервале эксплуатации. Действительно, аналитическое выражение для параметра потока отказов  $\omega(t)$  можно получить из интегрального уравнения:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau) \cdot f(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

Это уравнение является фундаментальным соотношением теории надёжности, определяющим зависимость между параметром потока отказов  $\omega(t)$ , образуемого первым, вторым и последующими отказами, и плотностью распределения наработки до первого отказа  $f(t)$ . Решение уравнения (1) с помощью преобразования Лапласа приводит к тождеству  $\omega \equiv \lambda$ , из которого следует, что экспоненциальная модель отказов “не позволяет различать” среднюю наработку до отказа  $T_o$  (показатель безотказности невосстанавливаемых систем) и среднюю наработку на отказ  $T_1(t)$  (показатель безотказности восстанавливаемых систем), поскольку  $T_o = 1/\lambda = 1/\omega = T_1 = const$ .

Из-за “совпадения” показателей  $\omega$  и  $\lambda$  многие специалисты в своих расчётах не учитывают, что в действительности эмпирические (реальные) характеристики этих показателей имеют совершенно разные закономерности во времени [2-4], и что методика получения статистических данных для оценивания интенсивности отказов  $\lambda^*(t)$  на основе плана испытаний [NUN] принципиально отличается от условий получения статистики отказов для оценивания параметра потока отказов  $\omega^*(t)$  на основе плана испытаний [NRT].

Методические погрешности лямбда-метода в оценке реальной интенсивности отказов рассмотрены в работе [1]. Там же, в соответствии с ВФ-технологией исследования надёжности предложена к практическому использованию фактически новая научно обоснованная модель безотказности – интенсивность отказов  $\Lambda(t)$ , являющаяся функцией наработки системы. Показано, что данной функции соответствует термин “**failures intensity**” в отличие от известного параметра  $\lambda^{EXP} = \text{const}$ , которому более соответствует термин “**failure rate**” (“норма отказа”), указывающий на ожидаемое появление отказа после наработки  $T_0^{EXP} = (\lambda^{EXP})^{-1}$ .

В данной статье исследование погрешностей лямбда-метода при оценивании параметра потока отказов предварим сравнительным анализом функций безотказности  $\omega_C(t)$  и  $\lambda_C(t)$ , получаемых из диффузионной немонотонной модели надёжности и адекватно отражающих эксплуатационную статистику по отказам [4].

Прогнозные оценки надёжности на основе ВФ-методологии и согласующиеся с ними эмпирические данные по отказам [4] показывают несовпадение параметра потока отказов с интенсивностью отказов на всём интервале эксплуатации технических систем. В частности, обратим внимание на то, что интенсивность отказов  $\lambda_C(t)$  и параметр потока отказов  $\omega_C(t)$  системы на начальном интервале наработки принципиально не совпадают, в отличие от поведения аналогичных функций безотказности для элемента системы [2, 6]. Указанные функции безотказности имеют одинаковые размерности – [1/час], но используются для оценивания надёжности в различных условиях функционирования системы:

- интенсивность отказов  $\lambda_C(t)$  определяет безотказность при лётной эксплуатации на интервале работоспособности (от начала эксплуатации/момента восстановления работоспособного состояния до возникновения отказа системы) и описывается зависимостью

$$\lambda_C(t) = \left\{ \frac{\sqrt{\mu_C}}{v_C \cdot t \cdot \sqrt{2\pi} \cdot t} \cdot \exp \left[ -\frac{(t - \mu_C)^2}{2 \cdot v_C^2 \cdot \mu_C \cdot t} \right] \right\} \times \left[ \Phi \left( \frac{\mu_C - t}{v_C \cdot \sqrt{\mu_C} \cdot t} \right) - \exp \left( \frac{2}{v_C^2} \right) \cdot \Phi \left( -\frac{\mu_C + t}{v_C \cdot \sqrt{\mu_C} \cdot t} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

- параметр потока отказов  $\omega_C(t)$  определяет безотказность при продолжительной эксплуатации (в течение срока службы системы) в условиях действующей структуры технического обслуживания и ремонта и описывается зависимостью

$$\omega_C(t) = \sum_{i=1}^N n_i \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m \cdot \sqrt{\mu_i}}{v_i \cdot t \cdot \sqrt{2\pi} \cdot t} \cdot \exp \left[ -\frac{(t - m \cdot \mu_i)^2}{2 v_i^2 \cdot \mu_i \cdot t} \right] \quad (3)$$

где  $\mu_C$  и  $v_C$  – параметры распределения отказов системы, являющиеся функциями аналогичных параметров  $\mu_i$  и  $v_i$  элементов и их количественного состава в системе, характеризуемого, в свою очередь, параметрами  $N$  и  $n_i$  [2, 3, 6].

Несовпадение функций в начальный период эксплуатации системы, а также доказанное в [6] нулевое значение функций при  $t = 0$  наглядно иллюстрирует рис. 1.

Представленные на рис. 1 функции безотказности  $\lambda_C(t)$  и  $\omega_C(t)$  получены для системы, являющейся печатной платой – сменной сборочной единицей (Replaceable Assembly Unit – RAU) в составе модулей типа LRM (Line Replacement Moduls) бортового оборудования. Характеристики элементов системы типа RAU представлены в таблице 1.

Укажем на интервалы наработки, при которых достигаются сопоставимые значения  $\lambda_C(t)$  и  $\omega_C(t)$ , например, равные  $10^{-9}$  час<sup>-1</sup> (верхняя граница графиков, см. рис. 1). Данный уровень интенсивности отказов  $\lambda_C(t)$  исследуемой системы типа ССЕ соответствует вероятности отказного состояния  $F(t) \cong 10^{-7}$  (крайне маловероятное событие по принятой классификации отказных состояний [1]) и достигается при суммарной наработке около  $t = 2000$  часов после начала эксплуатации. Параметр потока отказов  $\omega_C(t)$  выходит на этот уровень после эксплуатации системы в течение не менее 7000 лётных часов [1], что и подтверждает несовпадение показателей безотказности  $\lambda_C(t)$  и  $\omega_C(t)$  системы на начальном интервале эксплуатации. Как иллюстрация принципиального различия этих функций безотказности, на рис. 2



показано их типичное поведение для электронных систем, а на рис. 3 представлена кривая отношения ординат  $\lambda(t)/\omega(t)$  при одинаковой наработке  $t$ .

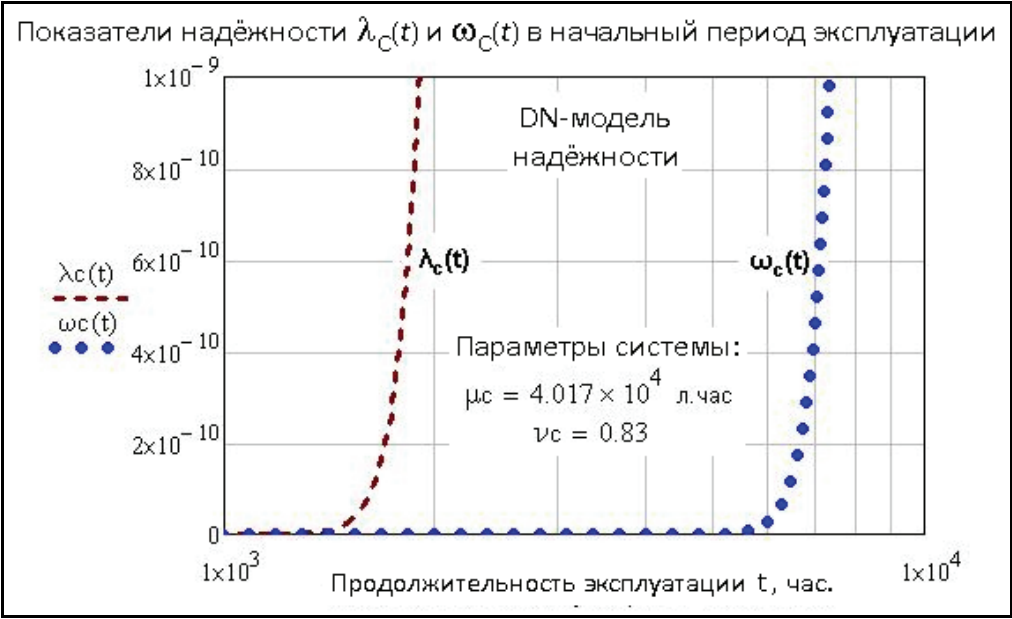


Рисунок 1 – Иллюстрация поведения функций безотказности  $\lambda_c(t)$  и  $\omega_c(t)$  системы

Таблица 1 – Элементный состав системы (печатной платы)

| Элементы                                                                                               |   | MTTF, h | $\nu$ | Элементы          |    | MTTF, h | $\nu$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------|-------|-------------------|----|---------|-------|
| дискретные ИМС                                                                                         | 0 | 62618   | 0,804 | контакты ШПР      | 4  | 862618  | 0,62  |
| резисторы (МЛТ)                                                                                        | 6 | 34176   | 0,99  | собственно МПП    |    | 2112880 | 1,08  |
| конденсаторы (К71-8)                                                                                   | 2 | 83493   | 1,02  | паяные соединения | 60 | 1718610 | 0,69  |
| Параметры системы: $\mu_c = 40169$ часов; $\nu_c = 0,83$ ; $T_{cл} = 259170$ часов; $\nu_{cл} = 0,326$ |   |         |       |                   |    |         |       |

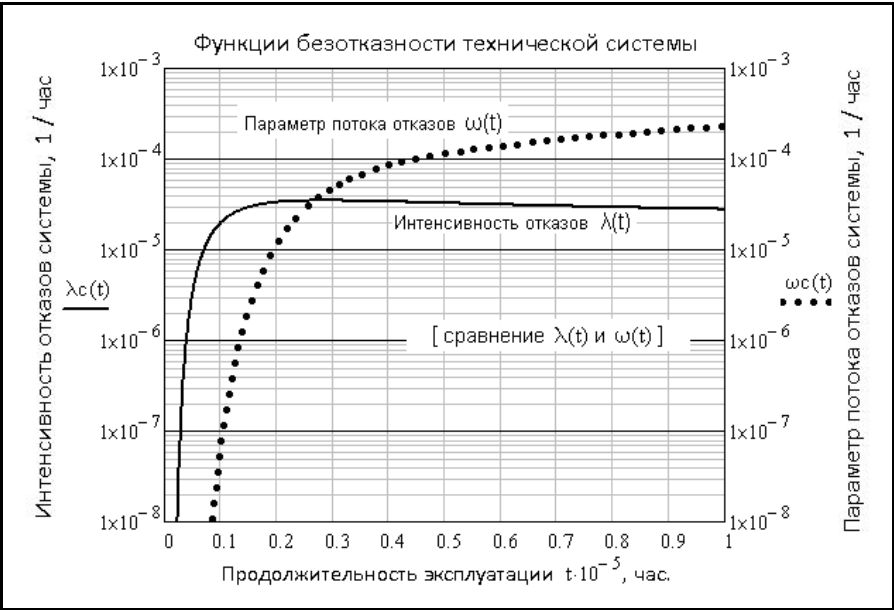


Рисунок 2 – Поведение функции безотказности  $\lambda_c(t)$  и  $\omega_c(t)$  системы типа RAU

Различие в значения  $\lambda(t)$  и  $\omega(t)$  на начальном этапе эксплуатации в интервале  $t \in 0, 10^4$  часов, который соответствует наработке систем до первого отказа, просто огромно:  $\lambda(t)/\omega(t) \sim 10^6 \dots 10^2$ , и это следует помнить, выбирая при расчётах надёжности критических систем экспоненциальное распределение в качестве модели отказов. После появления в системе первого отказа, что соответствует примерно области пересечения кривых  $\lambda(t)$  и  $\omega(t)$  для принятых исходных данных, различие последних продолжает возрастать, оставаясь в пределах  $10^3$  процентов до достижения предельного состояния системы.

Таким образом, модели отказов  $\lambda(t)$  и  $\omega(t)$  принципиально отличаются друг от друга, имеют различный присущий их проявлению в процессе эксплуатации физический смысл, сохраняя “принадлежность” к указанным выше интервалам эксплуатации. На наш взгляд, эти новые, несуществующие в “лямбда”-методе расчёта надёжности модели отказов  $\lambda(t)$  и  $\omega(t)$  целесообразно определить соответственно их назначению как “failures intensity” (интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ) и как “failures stream parameter” (параметр потока отказов  $\omega(t)$ ).

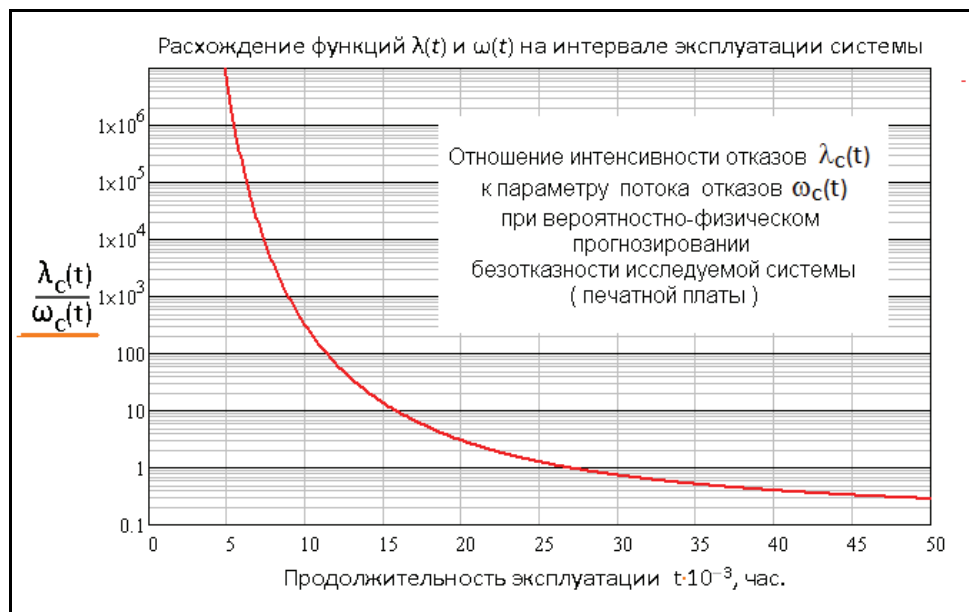


Рисунок 3 – Иллюстрация несовпадения функций безотказности  $\lambda_c(t)/\omega_c(t)$  на интервале эксплуатации 5000 ... 50000 часов системы типа RAU

Другой причиной неадекватности оценок надёжности, получаемых на основе *EXP*-распределения, является однопараметричность модели, невозможность учёта рассеяния наработки изделий до отказа, поскольку коэффициент вариации наработки до отказа в этой модели фиксирован на уровне 1. С учётом того, что фиксированны также и третий, и четвёртый моменты экспоненциального распределения (коэффициент асимметрии всегда равен двум, коэффициент эксцесса — девяти), исследователи вынуждены применять в расчётах только математическое ожидание, тогда как показатели безотказности существенно зависят от рассеяния (разброса) наработки до отказа конкретных элементов и систем. Погрешности расчётов существенно возрастают, если коэффициенты вариации наработки до отказа элементов системы отличаются от единицы [6].

Постоянная интенсивность отказов  $\lambda$  в экспоненциальной модели надёжности означает, что экспоненциальное распределение не учитывает старение, износ и другие деградиационные процессы, т.е. “не предполагает” необходимость выбора более качественных материалов при производстве изделий или проведения технического обслуживания в процессе эксплуатации [8].

Из-за необходимости учёта износа и усталости, а также по причине существенного расхождения в значениях коэффициентов вариации ресурса изделия и модели экспоненциальное распределение в принципе не рекомендуется применять для расчетов безотказности механических и электромеханических систем.

Прогнозирование ожидаемого числа отказов при продолжительной эксплуатации системы.

Системы длительного применения функционируют в условиях случайного потока отказов и на протяжении 20-40 лет эксплуатации неоднократно нуждаются в восстановлении их работоспособного состояния, которое поддерживается действующей системой технического обслуживания и ремонта.

Вероятностно-физическое прогнозирование позволяет получить не только адекватные оценки безотказности на этапе лётной эксплуатации компонентов и систем авионики, но и оценить их надёжностные характеристики и показатели на этапе эксплуатации в течение всего срока службы  $T_{cl}$  воздушного судна.

В условиях длительной эксплуатации жизненный цикл системы может быть представлен чередующимися интервалами работоспособности  $t_i$  и восстановления  $t_{Bi}$  её элементов,  $i \in \overline{1, N}$ , где  $N$  – число различных типов элементов в составе системы.

Моменты  $t_i$  появления отказов элементов являются случайными величинами, распределёнными с плотностью, описываемой выражением (2). Точно также случайным является и число отказов  $m$  на интервале эксплуатации системы  $(0, T_{cl})$ . Аналитические выражения для распределения отказов и показателей надёжности системы на интервале эксплуатации  $(0, T_{cl})$  можно получить на основе модели процесса восстановления системы, который удовлетворяет следующим допущениям:

1. Блок LRM в составе бортовой авиационной системы является типовым элементом замены и расходует свой ресурс, начиная с момента времени  $t = 0$ .

2. Нарботка  $t_i$  элемента до отказа является случайной величиной с диффузионной немонотонной функцией распределения  $F(t)$ , которая с учётом (2) имеет вид

$$F(t) = 1 - R(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{t + \mu}{v \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right).$$

3. При появлении отказа работоспособность системы восстанавливается путём замены отказавшего элемента работоспособным аналогом из состава запасного комплекта.

4. Замена отказавшего LRM элементом-аналогом выполняется сразу после окончания полёта.

5. Продолжительность восстановления  $t_{ei}$  работоспособного состояния системы несравненно меньше периода её работы до следующего отказа, т.е.  $t_{ei} \ll t_i$  (можно считать, что отказавший LRM заменяется работоспособным аналогом мгновенно).

6. Процессы восстановления работоспособного состояния системы независимы.

7. Восстановление обеспечивает исходный (к моменту появления отказа) уровень надёжности системы.

8. Известны средние значения  $\mu_i$  и коэффициенты вариации  $v_i$  наработки до отказа каждого LRM системы.

С учётом изложенного выражение для вероятности появления  $m$  отказов  $i$ -го элемента с параметрами  $\mu_i$  и  $v_i$  при продолжительности эксплуатации  $t$  получено в [3, 5] и записывается в следующем виде:

$$F_i(m, t) = \Phi\left(\frac{m - X_i}{v_i \cdot \sqrt{m}}\right) + \exp\left(\frac{2X_i}{v_i^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{m + X_i}{v_i \cdot \sqrt{m}}\right), \quad (4)$$

где  $X_i = t / \mu_i$  – относительная наработка  $i$ -го LRM до отказа.

Зависимость (4) является функцией распределения числа отказов  $m$   $i$ -го LRM на интервале заданной наработки  $t$ , а следовательно, и **функцией распределения числа восстановлений системы на интервале эксплуатации  $t$** , и связывает вероятность появления отказов  $i$ -го LRU с параметрами его безотказности  $\mu_i$  и  $v_i$ .

Поскольку число отказов  $m$  LRM в течение жизненного цикла системы есть целое число, то функция распределения  $F(m, t)$  является разрывной ступенчатой функцией. График функции распределения числа отказов для наработки  $t = T_{cl}$  и параметров распределения отказов  $\mu_c$  и  $v_c$  системы приведен на рис. 4.

График  $F(m, t)$  представляет собой неубывающую функцию, значение которой начинается от 0 и доходит скачками до 1, причем в точках разрыва, соответствующим числу отказов  $m$ , функция  $F(m, t)$  непрерывна слева и определяет следующие вероятности появления отказов:

- вероятность появления ровно  $m$  отказов на интервале  $T_{cl}$  – это высота ступеньки при абсциссе  $m$ ;

- вероятность того, что в течение срока службы число отказов будет не менее  $(m + 1)$ , равна отрезку ординаты  $[1 - F(m)]$  в интервале  $[m + (m + 1)]$ ;

• вероятность того, что в течение  $T_{cl}$  число отказов будет меньше  $(m + 1)$ , равна отрезку ординаты от оси абсцисс до ступеньки в интервале  $[m \div (m + 1)]$ .

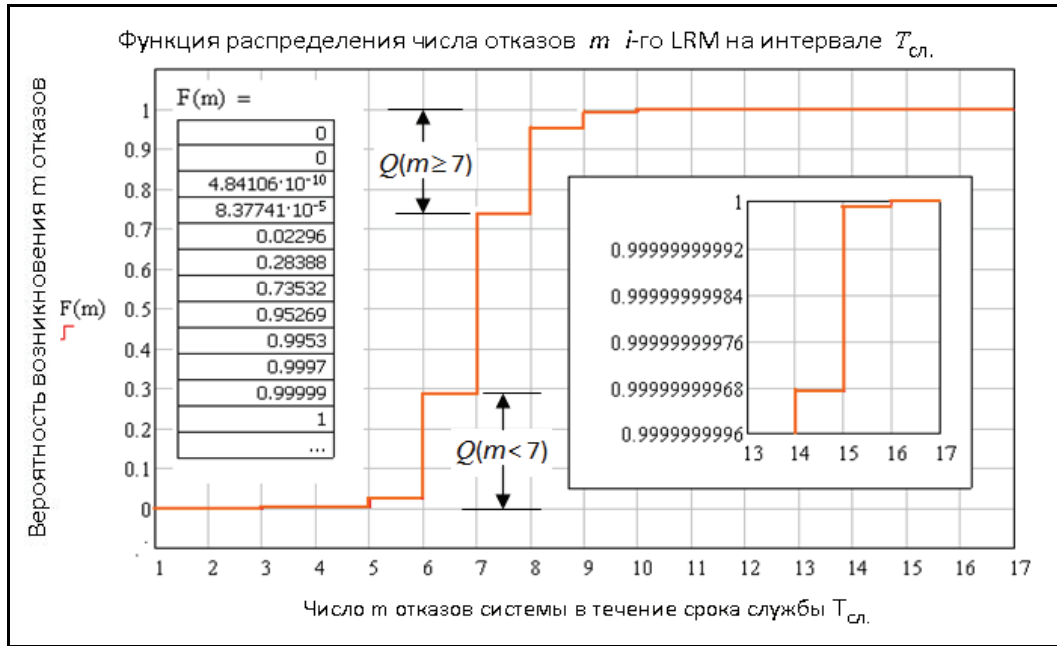


Рисунок 4 – Распределение отказов системы на интервале эксплуатации

На основе функции распределение отказов  $F(m, t)$  системы получены аналитические выражения для показателей безотказности систем на интервале длительной эксплуатации.

Погрешности прогнозирования безотказности восстанавливаемых систем.

ВФ-технология анализа надёжности предлагает аналитические выражения для показателей безотказности систем длительной эксплуатации (“восстанавливаемых” систем), полученные на основе функции распределения числа отказов  $F(m, t)$  и обеспечивающие вычисление среднего числа  $m$  отказов за наработку  $t$  –  $M[m(t)]$ , имеющее и другое название – функция восстановления  $\Omega(t)$ , определяемая как математическое ожидание количества восстановлений при продолжительности эксплуатации  $t$ ;

- параметра потока отказов –  $\omega(t)$ , определяемая как математическое ожидание количества отказов в единицу времени;

- средней наработки на отказ –  $T_1(t)$  (MTBF).

Данные показатели безотказности являются функциями продолжительности эксплуатации и описываются следующими аналитическими выражениями:

$$M[m(t)]_C = \Omega_C(t) = \sum_{i=1}^N n_i \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[ \Phi \left( \frac{t - m \cdot \mu_i}{v_i \cdot \sqrt{t \cdot \mu_i}} \right) + \exp \left( \frac{2 \cdot m}{v_i^2} \right) \cdot \Phi \left( - \frac{t + m \cdot \mu_i}{v_i \cdot \sqrt{t \cdot \mu_i}} \right) \right], \quad (5)$$

$$\omega_C(t) = \sum_{i=1}^N n_i \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m \cdot \sqrt{\mu_i}}{v_i \cdot t \cdot \sqrt{2\pi \cdot t}} \cdot \exp \left[ - \frac{(t - m \cdot \mu_i)^2}{2v_i^2 \cdot \mu_i \cdot t} \right], \quad (6)$$

$$T_{1C}(t) = \frac{1}{\omega_C(t)}. \quad (7)$$

Приведём результаты анализ возможных погрешностей в оценках показателей безотказности, прогнозируемых на основе экспоненциального распределения, когда исследователи вынуждены использовать в расчётах константное значение параметра потока отказов системы  $\omega_C^{EXP} \equiv \lambda_C^{EXP}$ . В силу этого тождества ожидаемое число отказов определяется линейной зависимостью от наработки  $\Omega_C^{EXP}(t) = \omega_C^{EXP} \cdot t$ .

Поведение ВФ-моделей безотказности (5) – (7) на интервале длительной эксплуатации системы типа RAU (см. табл. 1) наглядно иллюстрируется графиками на рис. 5, 7 и 9.

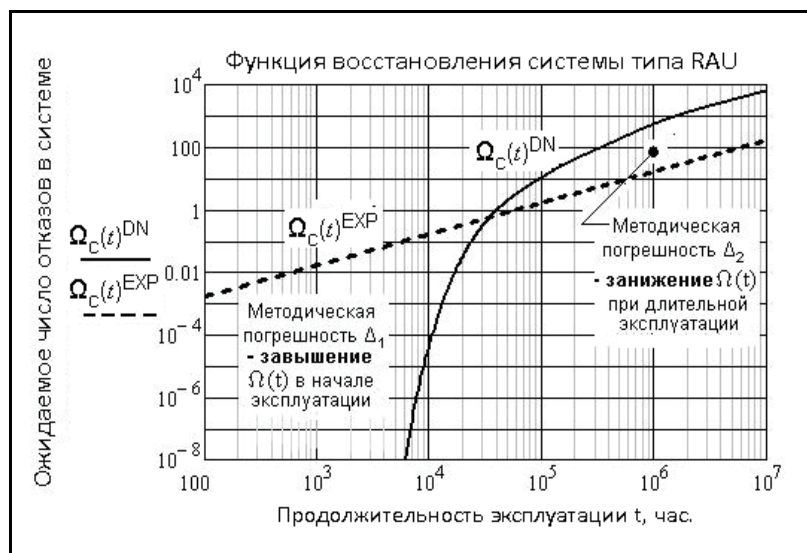


Рисунок 5 – Ожидаемое число отказов системы типа ССЕ при длительной эксплуатации

Распределение методических погрешностей  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  расчёта показателей надёжности в виде относительных значений  $\delta\Omega_C^{EXP}$ ,  $\delta\omega_C^{EXP}$ ,  $\delta T_{IC}^{EXP}$  (%%) на интервале эксплуатации системы показано соответственно на рис. 6, 8 и 10.

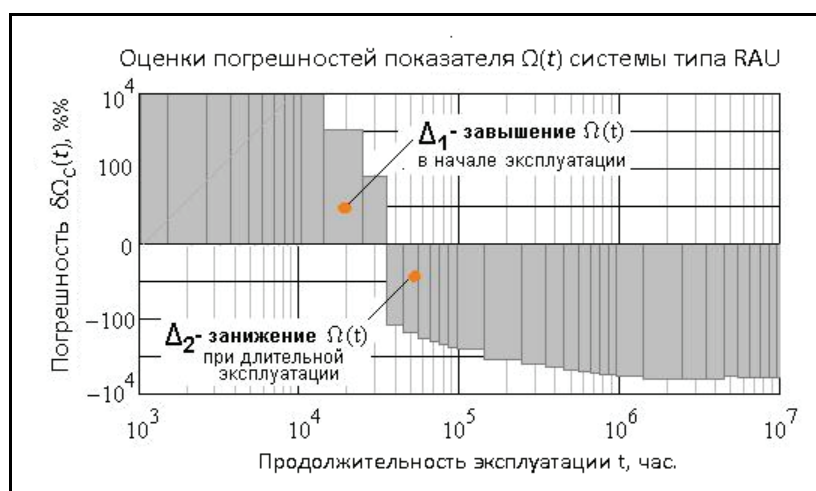


Рисунок 6 – Погрешности оценивания среднего числа отказов системы типа ССЕ

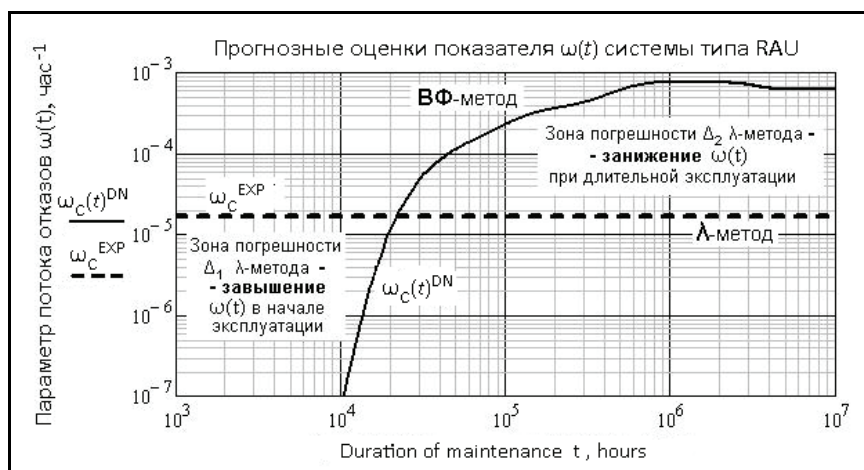


Рисунок 7 – Методические погрешности 1-го и 2-го рода  $\lambda$ -метода при расчёте показателя  $\omega(t)$

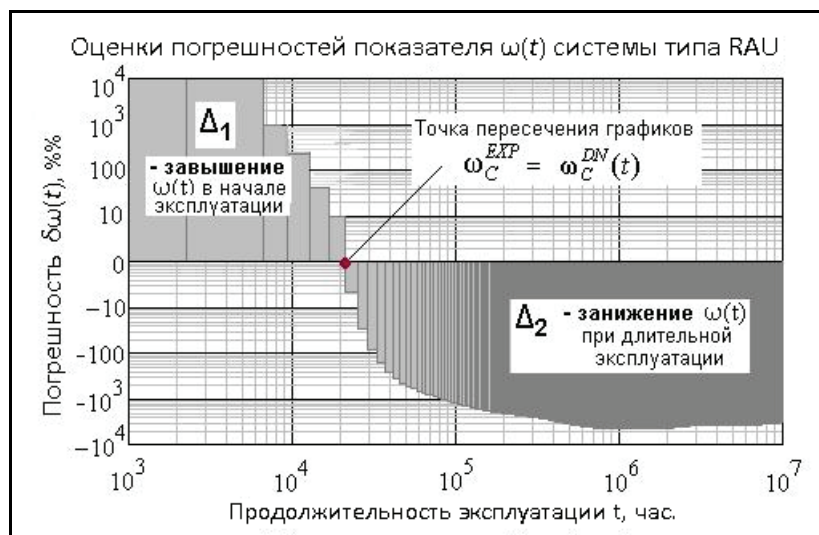


Рисунок 8 – Погрешности оценивания параметра потока отказов системы типа ССЕ

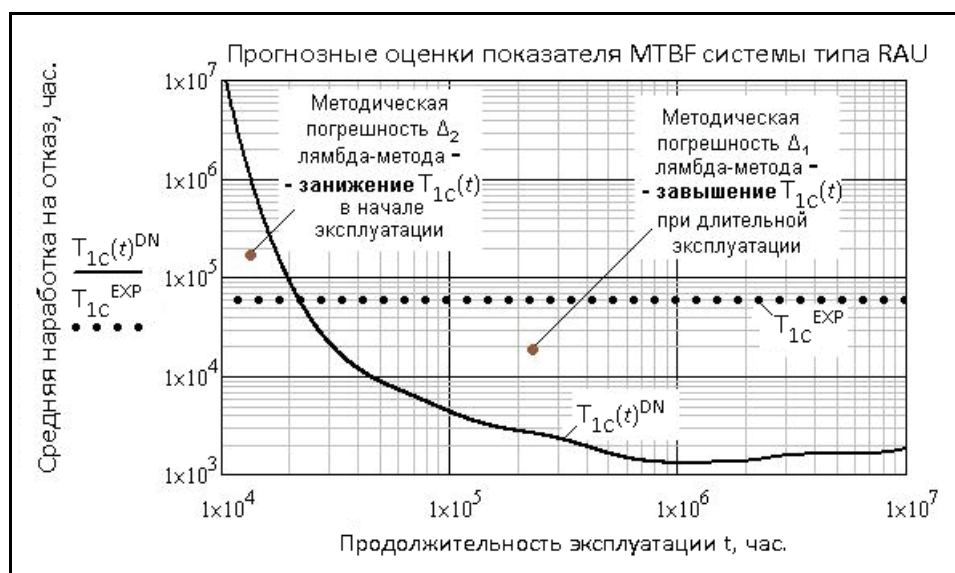


Рисунок 9 – Ожидаемая наработка системы на отказ при длительной эксплуатации

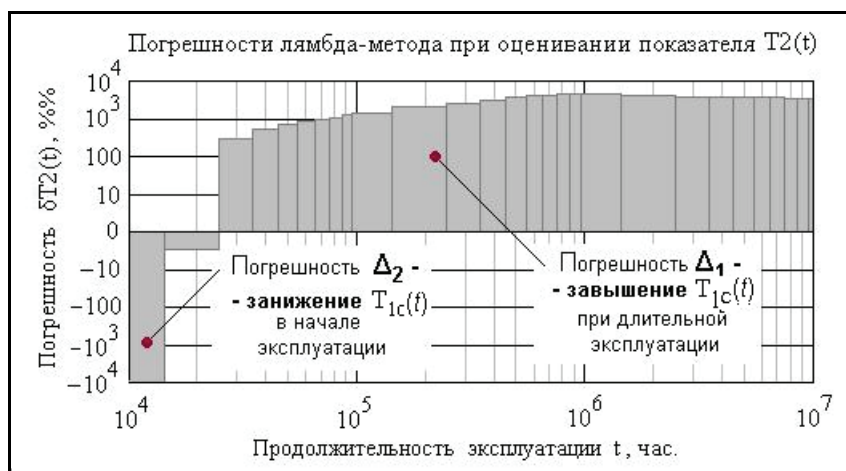


Рисунок 10 – Погрешности оценивания средней наработки на отказ системы типа RAU



Там же для сравнения представлены  $\lambda$ -аналоги показателей надёжности  $\Omega_C^{EXP}$ ,  $\omega_C^{EXP}$ ,  $T_{IC}^{EXP}$ , вытекающие из экспоненциального распределения, и показаны области существования методических погрешностей  $\Delta_1$  (ошибка первого рода – завышение показателей) и  $\Delta_2$  (ошибка второго рода – занижение результата расчёта) лямбда-метода в оценках показателей безотказности восстанавливаемых систем.

Аналитическое прогнозирование долговечности системы.

Представленные здесь функции безотказности обеспечивают аналитическое прогнозирование долговечности системы при задании критерия предельного состояния в виде допустимых значений  $\Omega_{доп}$ ,  $\omega_{доп}$  и  $T_{доп}$ . Например, при достижении параметром потока отказов  $\omega_C(t)$  значения критерия предельного состояния  $\omega_{доп} = 4 \cdot 10^{-4}$  час<sup>-1</sup> трансцендентное относительно  $t = T_{сл}$  уравнение (6) преобразуется к виду:

$$\omega_{доп} = \sum_{i=1}^N n_i \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m \cdot \sqrt{\mu_i}}{v_i \cdot T_{сл} \cdot \sqrt{2\pi \cdot T_{сл}}} \cdot \exp \left[ -\frac{(T_{сл} - m \cdot \mu_i)^2}{2 v_i^2 \cdot \mu_i \cdot T_{сл}} \right]; \quad (8)$$

решение уравнения (8) для системы типа RAU с известными параметрами распределения отказов  $\mu_i$  и  $v_i$  и количеством  $n_i$  элементов  $i$ -го типа приведен на листинге 1, где прогнозируемое значение  $T_{сл} = 259360$  летных часов. Применение EXP-распределения в качестве модели отказов принципиально не позволяет выполнить подобное прогнозирование.

Листинг 1. Аналитическое прогнозирование среднего срока службы системы

Given Критерий предельного состояния:  $\omega_{доп} := 4 \cdot 10^{-4}$  час<sup>-1</sup>

Ориентировочное значение корня трансцендентного уравнения:  $T_{сл} := 7 \cdot 10^4$  часов

$$\sum_{i=1}^N \left[ n_i \cdot \sum_{m=1}^{15} \left[ \frac{m \cdot \sqrt{\mu_i}}{v_i \cdot T_{сл} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot T_{сл}}} \cdot \exp \left[ -\frac{(T_{сл} - m \cdot \mu_i)^2}{2 (v_i)^2 \cdot \mu_i \cdot T_{сл}} \right] \right] \right] - \omega_{доп} = 0$$

Результат вычислений:  $T_{сл} := \text{Find}(T_{сл}) = 2.59364 \times 10^5$  часов

Прогнозирование гамма-процентного срока службы системы при заданном значении вероятности не достижения предельного состояния  $\gamma$  выполнено на примере RAU. Алгоритм и результат прогнозирования гамма-процентного срока службы печатной платы приведен на листинге 2.

Листинг 2. ВФ-прогнозирование гамма-процентного срока службы системы

1. Параметры распределения отказов системы типа SSE:  $\mu_c := 40169$  час.;  $\nu_c := 0.8295$ ;
2. Показатель долговечности системы:  $T_{сл} = 2.59364 \times 10^5$  час.;
3. Коэффициент вариации срока службы:  $\nu_{сл} := \nu_c \cdot \sqrt{\mu_c + T_{сл}} = 0.326$ ;
4. Квантиль функции DN-распределения уровня  $\gamma := 99.99\%$  недостижения предельного состояния SSE определяется из уравнения модели надёжности:  
 Given Ориентировочное значение квантиля:  $X := 0.20$   
 Модель надёжности:  $\text{snorm} \left( \frac{1-X}{\nu_{сл} \cdot \sqrt{X}} \right) - \exp \left( \frac{2}{\nu_{сл}^2} \right) \cdot \text{snorm} \left( -\frac{1+X}{\nu_{сл} \cdot \sqrt{X}} \right) = \frac{\gamma}{100}$ ;  
 Квантиль функции DN-распределения:  $X := \text{Find}(X) = 0.3072$ ;
5. Гамма-процентный срок службы SSE при заданных исходных параметрах составляет:  
 $T_{\gamma сл} := T_{сл} \cdot X = 7.969 \times 10^4$  час.

Зависимость гамма-процентного срока службы ССЕ от допустимого уровня  $(1 - \gamma)$  достижения предельного состояния представлена на рис. 11.

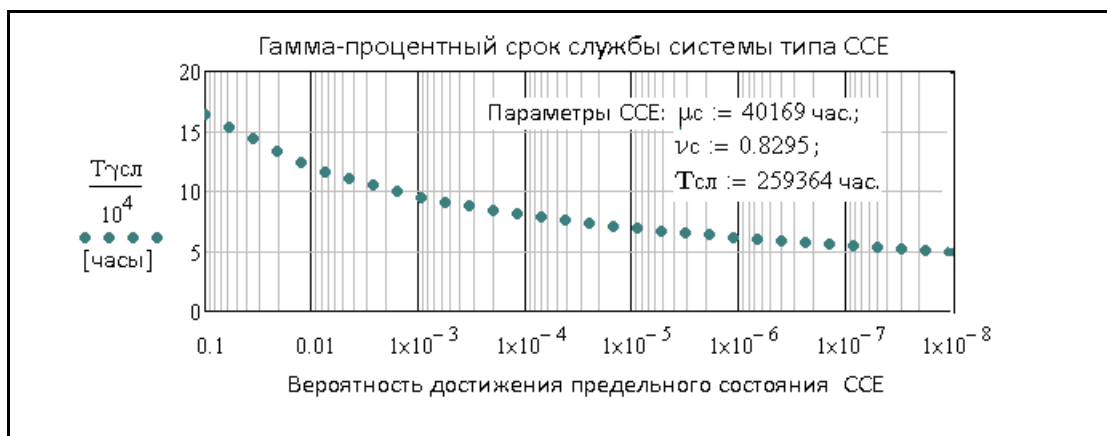


Рисунок 11 – Гамма-процентная долговечность системы типа ССЕ

**Выводы.** Выполнение расчётов надёжности восстанавливаемых систем на основе экспоненциального распределения сопровождается методическими погрешностями, достигающими сотен и тысяч процентов по сравнению с оценками на основе ВФ-технологии, практически совпадающими с эмпирическими результатами.

Столь значительные погрешности в проектно-конструкторских расчетах показателей надёжности и в оценках интегральных уровней безопасности критических систем и технологических процессов исключают применение методик, основанных на экспоненциальном распределении возможных отказных ситуаций.

*EXP*-модель отказов, принятая в самом начале появления надёжности как науки о качестве техники и соответствующая тогда уровню безотказности существующей элементной базы, была введена во все отраслевые стандарты по надёжности. Однако с появлением высоконадёжных и multifunctional элементов, в частности, БИС и СБИС лямбда-методики исчерпали свои возможности и в применении к современной элементной базе приводят к ложным оценкам показателей надёжности технических систем.

Приведенные в статье примеры оценивания показателей качества восстанавливаемых систем и, в частности, прогнозирование ожидаемого числа отказов при продолжительной эксплуатации или показателей долговечности системы демонстрируют некоторые из многочисленных возможностей вероятностно-физической технологии исследования надёжности, применение которых в проектировании аэрокосмических бортовых систем обеспечивает соответствие их надёжности заданным требованиям.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Gribov V.M., Hryshchenko Yu.V., Koshokhina O.V. To the question on errors of dependability calculation based on the exponential model of failures of distribution // Electronics and control systems. – K.: 2015. – № 1 (43) – p. 59 – 66.
2. Грибов В.М., Кофанов Ю.Н., Стрельников В.П. Оценивание и прогнозирование надёжности бортового аэрокосмического оборудования. – М.: Нац. исслед. ун-т “Высш. шк. экономики”, 2013. – 496 с.
3. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надёжности электронных элементов и систем: монография. К.: Логос, 2002. – 488 с.
4. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 122 с.
5. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення: ДСТУ 3433-96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 42 с.
6. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 92 с.



## REFERENCES

1. Gribov V.M., Hryshchenko Yu.V., Koshokhina O.V. To the question on errors of dependability calculation based on the exponential model of failures of distribution // Electronics and control systems. – K.: 2015. – № 1 (43) – p. 59 – 66
2. Gribov V.M., Kofanov Yu.N., Strelnikov V.P. Otsenivanie i prognozirovanie nadYozhnosti bortovogo aerokosmicheskogo oborudovaniya. – M.: Nats. issled. un-t “Vyssh. shk. ekonomiki”, 2013. – 496 s.
3. Strelnikov V.P., Feduhin A.V. Otsenka i prognozirovanie nadYozhnosti elektronnyih elementov i sistem: monografiya. K.: Logos, 2002. – 488 s.
4. Nadiinist tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnymy danymy: DSTU 3004-95.– K.: Derzhstandart Ukrainy, 1995. – 122 s.
5. 4. Nadiinist tekhniky. Modeli vidmov. Osnovni polozhennia: DSTU 3433-96. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1996. – 42 s.
6. 5. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia: DSTU 2860-94. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – 92 s.

## РЕФЕРАТ

Грибов В.М. Ошибки прогнозирования надёжности восстанавливаемых систем длительного применения при использовании экспоненциальной модели отказов/ В.М. Грибов, Е.В. Кожохина // Информационные процессы, технологии и системы на транспорте. - К.: НТУ - 2016. – Вып. 4.

В статье представлены количественные оценки погрешностей лямбда-метода при прогнозировании функции восстановления, параметра потока отказов и средней наработки на отказ высоконадёжных технических систем в условиях продолжительной эксплуатации.

Объект исследования – модели надёжности.

Цель работы – доказать несостоятельность однопараметрической и чисто-вероятностных моделей надёжности.

Метод исследования - статистический анализ.

В статье рассмотрены недостатки однопараметрической модели надёжности, такой как экспоненциальная, на примере расчета надёжности электронных изделий. Проведен анализ погрешностей прогнозирования безотказности восстанавливаемых систем, и аналитическое прогнозирование долговечности системы в результате которых доказано преимущество вероятностно-физических моделей надёжности по сравнению с однопараметрическими и чисто-вероятностными.

Данная статья обобщает материалы исследования надёжности на интервале длительной эксплуатации систем (десятки и сотни тысяч часов) и иллюстрирует те существенные погрешности, которые сопровождают дальний прогноз надёжности на основе экспоненциального распределения.

Представлены также примеры малоизвестных возможностей вероятностно-физической технологии исследования надёжности выполненные в информационном пакете Mathcad на конкретных примерах систем аэрокосмического назначения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПОГРЕШНОСТИ ЛЯМБДА-МЕТОДА, МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ, ФУНКЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПАРАМЕТР ПОТОКА ОТКАЗОВ, СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ, ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ.

## ABSTRACT

Gribov V.M. Exponential model deviations in reliability prediction of durable recoverable systems/ V.M. Gribov, O.V. Kozhokhina // Information processes, technologies and systems to transport. - K.: NTU - 2016 – Vol. 4.

The paper deals with quantitative estimations of lambda-method errors that are represented at the forecasting of restoring function, failures flow parameter and an average operating time between failures of highly reliable technical systems under conditions of long operation.

Object of research - reliability model.

Purpose of research - argue away one-parameter and purely probabilistic reliability models.

The research method - statistical analysis.

The paper deals with disadvantages of reliability one-parameter model, such as exponential, by the example of electronic product reliability calculation. Analysis of error prediction of restorable system reliability was carried on. Analytical prediction of system durability as a consequence of which advantage of

probabilistic-physical reliability models, in comparison with the one-parameter and purely probabilistic, are proven.

This paper generalizes reliability research materials on the interval of long-term system operation of (tens and hundreds of thousand hours) and demonstrate that significant error that goes with a forecast of long-range reliability that the basis of the exponential distribution.

Examples of lesser-known opportunities of physical probabilistic reliability research performed on the Mathcad package with specific reference of aerospace systems are presented.

KEYWORDS: LAMBDA-METHOD DEVIATIONS, FAILURES DISTRIBUTION MODEL, RESTORE FUNCTION, FAILURE FLOW PARAMETER, AVERAGE LIFE BETWEEN FAILURES

#### РЕФЕРАТ

Грібов В.М. Помилки прогнозування надійності відновлюваних систем тривалого застосування при використанні експоненційної моделі відмов / В.М. Грібов, О.В. Кожохіна // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ – 2016. – Вип. 4.

У статті представлені кількісні оцінки похибок лямбда-методу при прогнозуванні функції відновлення, параметра потоку відмов і середнього напрацювання на відмову високонадійних технічних систем в умовах тривалої експлуатації.

Об'єкт дослідження - моделі надійності.

Мета роботи - довести недоліки однопараметричної і чисто-імовірнісних моделей надійності.

Метод дослідження - статистичний аналіз.

У статті розглянуті недоліки однопараметричної моделей надійності, такої як експоненціальна, на прикладі розрахунку надійності електронних виробів. Проведено аналіз похибок прогнозування безвідмовності відновлюваних систем, і аналітичне прогнозування довговічності системи в результаті яких доведено перевагу вероятностно-фізичних моделей надійності в порівнянні з однопараметричними і чисто-імовірнісними.

Дана стаття узагальнює матеріали дослідження надійності на інтервалі тривалої експлуатації систем (десятки і сотні тисяч годин) і ілюструє ті суттєві похибки, які супроводжують далекий прогноз надійності на основі експоненціального розподілу.

Представлені також приклади маловідомих можливостей вероятностно-фізичною технології дослідження надійності виконані в інформаційному пакеті Mathcad на конкретних прикладах систем аерокосмічного призначення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОХИБКИ ЛЯМБДА-МЕТОДУ, МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ВІДМОВ, ФУНКЦІЯ ВІДНОВЛЕННЯ, ПАРАМЕТР ПОТОКУ ВІДМОВ, СЕРЕДНЄ НАПРАЦЮВАННЯ НА ВІДМОВУ, ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ ВІДМОВ, ГАММА-ПРОЦЕНТНИЙ ТЕРМІН СЛУЖБИ.

#### АВТОРЫ:

Грибов Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Национальный авиационный университет, e-mail: nvshka@mail.ru, тел: +380974948914, Украина, 03058, г. Киев, просп. Космонавта Комарова 1.

Кожохина Елена Владимировна, кандидат технических наук, заместитель директора Учебно-научного Института аэронавигации по организационно-воспитательной работе, Национальный авиационный университет, e-mail: kozhokhina@gmail.com, тел:+380677676431, Украина, 03058, г. Киев, просп. Космонавта Комарова 1.

#### AUTHORS:

Gribov Victor Mykhaylovych, candidate of engineering, associate professor, National Aviation University, e-mail: nvshka@mail.ru, tel: +380974948914, Ukraine, 03058, Kyiv, ave. Kosmonavta Komarova 1.

Kozhokhina Elena, candidate of engineering, deputy director of the Scientific-Research Institute of Air Navigation on organizational and discipline work, the National Aviation University, e-mail: kozhokhina@gmail.com, tel:+380677676431, Ukraine, 03058, Kyiv, ave. Kosmonavta Komarova 1.

#### АВТОРИ:

Грібов Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, e-mail: nvshka@mail.ru, тел: +380974948914, Україна, 03058, г. Киев, просп. Космонавта Комарова 1.

Кожохіна Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, заступник директора Навчально-наукового Інституту аеронавігації з організаційно-виховної роботи, Національний авіаційний

університет, e-mail: kozhokhina@gmail.com, тел:+380677676431, Україна, 03058, г. Київ, просп. Космонавта Комарова 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедрою міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

Тронько В.Д., д.ф.-м.н., професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

REVIEWERS:

Prokudin G.S., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the department of international transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.

Tronko V.D., Doctor of Physical and Mathematical sciences, Professor. National Aviation University, Kyiv, Ukraine

## ЗМІСТ

### Інформаційні системи та технології на транспорті

- Аль-Амморі Алі, Цуканов О.І., Аль-Амморі Х.А. Інформаційна технологія дослідження напівмарковської моделі надійності складних систем 3
- Воркут Т.А., Данчук В.Д., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Використання сучасних засобів інформаційних технологій при оптимізації схем доставки вантажів 17
- Хафед І. С. Абдулсалам Інформаційно-аналітичний аналіз ефективності роботи зубчастих передач 28

### Математичне моделювання та технологічні засоби розробки інтегрованих програмних систем

- Омаров Д.М. Приклад моделювання роботи міських автобусів на маршруті 38
- Гамеляк І.П., Коц І.В., Бауман К.В. Нечітка математична модель оцінки технологічного процесу приготування бітумних емульсій 48
- Белятинський А.О., Васільєв Д.П. Вимірювання рельєфу штучних покриттів аеропортів поляриметричним методом 58

### Безпека, захист інформації та надійність мультимедійного спілкування

- Баранов Г.Л., Габрук Р.А., Прохоренко О.М., Горішна І.Я. Комплексна оцінка безпеки динамічного позиціонування в локально обмеженому просторі технологічної роботи 64
- Оксіюк О.Г., Огбу Д.О. Центр захисту інформаційних даних від кібератак 71

### Електронне навчання, картографія, навігація та управління на транспорті

- Клочан А.Є. Фізичні основи поляриметричної системи посадки 77
- Баранов Г.Л., Цулая А.В., Шарко В.П., Паршин О.Г. Навігація на основі знань хвильової поверхні просторово-часових сигналів супутникових радіонавігаційних систем 90
- Петрашевський О.Л. Пропозиції щодо вдосконалення термінологічної системи транспортної системології (частина 1) 102

### Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг та геоінформаційні системи

- Машков О.А., Аль-Тамими Р.К.Н., Лами Д.Д.Х. Застосування інформаційних аерокосмічних технологій для оцінки транскордонних екологічних конфліктів 107
- Аль-Амморі Алі, Верховецька І.М., Топольськов Є.О., Тимченко О.П. Ефективність відновлюваних джерел енергії 119

### Ергатичні системи автоматизації технологічних процесів управління та обробки часових даних

- Шестак Я.В. Оцінювання ризиків в сучасних інформаційно – телекомунікаційних системах 125
- Дегтярьова А.О. Інформаційні технології аналізу статистичних даних про пожежі на борту повітряних суден 131
- Грібов В.М., Кожохіна О.В. Помилки прогнозування надійності відновлювальних систем тривалого застосування при використанні експоненціальної моделі відмов 139

## CONTENT

### Information Systems and Technologies in Transport

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Al-Ammouri Ali, Tsukanov I. M., Al-Ammori H.A. Information technologies for research semi-markov reliability model of complex systems     | 3  |
| Vorkut T.A., Danchuk V.D., Prokudin G.S., Prokudin O.G. Use of modern information technologies for optimization of schemes delivery cargo | 17 |
| Hafed I.S. Abdulsalam Information-analytical analysis of the gears efficiency                                                             | 28 |

### Mathematical modeling and engineering development tools for integrated software systems

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Omarov D.M. Example modeling of city buses route                                                              | 38 |
| Gameliak I., Kots I., Bauman K., Fuzzy mathematical model assessment process preparation of bitumen emulsions | 48 |
| Bieliatynskiy A. O., Vasiliev D. P. Measuring relief of the airport's artificial turf by polarimetric method  | 58 |

### Safety, information security and communication multimedia reliability

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Baranov G.L., Gabruk R.A., Prokhorenko O.M., Gorishna I.Y. Complex assessment of safety during dynamic positioning in locally confined area of technological work | 64 |
| Oksiuk A.G., Ogbu J. Information protecting data center from cyber-attack                                                                                         | 71 |

### E-learning, cartography, navigation and transport management

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Klochan A.E. Physics fundamentals of polarimetric landing system                                                                                           | 77  |
| Baranov G.L., Tsulaya A.V., Sharko V.P., Parshin O.G. Navigation on the basis of knowledge wave surface space-time signals of satellite navigation systems | 90  |
| Petrashovsky O.L. Proposals to improve the systemology of transport system terminology (part 1)                                                            | 102 |

### Computer ecological-economic monitoring and GIS

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Mashkov O.A., Al-Tameemi R.Q.N., Lami D.J.H. The aerospace application of information technologies for the assessment of transboundary environmental conflicts | 107 |
| Al-Ammouri Ali, Verkhovetska I.N., Topolskov E.O., Tymchenko O.P. Effectiveness of renewable energy sources                                                    | 119 |

### Ergatic systems for technological control processes and processing time data automatization

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Shestak Y.V. Risk assessment in the modern information and telecommunication systems                                                              | 125 |
| Degtiarova A.O. Information technology for analysis the statistics of aircraft onboard fires                                                      | 131 |
| Gribov V.M., Kozhohina O.V. Prediction error of long-term application restorable system reliability with the use of the exponential failure model | 139 |

[illegible]

[illegible]

Наукове видання

**ІНФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ,  
ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ  
НА ТРАНСПОРТІ**

**Науково-технічний журнал**

**Випуск 4, 2016**

Головний редактор: *Дмитриченко М.Ф.*

Відповідальний секретар редколегії: *Тимченко О.П.*

Комп'ютерна верстка: *Клочан А.Є.*

Дизайн обкладинки: *Земба О.І.*

*За стилістику і орфографію статей збірника несуть відповідальність автори.*

**Засновник та видавець**

Національний транспортний університет,  
01010, Україна, м. Київ, вул. Суворова 1, тел.: +38(044) 280 7066,  
<http://www.ntu.kar.net/ukraine/nauka/its.htm>  
e-mail: [iptst.ntu@gmail.com](mailto:iptst.ntu@gmail.com);  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1218 від 30.01.2003 р.

**Виготовлювач**

Національний транспортний університет, редакційно-видавничий відділ,  
01103, Україна, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39, тел.: +38(044) 284 2626, e-mail: [nturv@gmail.com](mailto:nturv@gmail.com)

Підписано до друку 15.12.2016 р. Формат 60x84/16.

Папір офсетний № 1. Гарнітура Times.

-----  
Вк. 11. Наклад 100. Зам. 4474

01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39.  
Редакційно-видавничий відділ НТУ, тел.: +(38 044) 284-26-26