



СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

4 (40) ' 2016

Заснований
у 2007 році

Наукове періодичне видання,
в якому відображені результати
наукових досліджень з розробки та
удосконалення систем управління,
навігації та зв'язку у різних
проблемних галузях.

Засновник:
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

Адреса редакційної колегії:
Україна, 36011, м. Полтава,
Першотравневий проспект, 24

Телефон: +38 (066) 706-18-30
(консультації, прийом статей).

E-mail:
kozelnikova@ukr.net

Інформаційний сайт:
<http://www.pntu.edu.ua>

Реферативна інформація
зберігається: у загальнодержавній
реферативній базі даних
„Україніка наукова” та публікується
у відповідних тематичних серіях
УРЖ „Джерело”.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф.)

Заступники голови:

ГАЛАЙ Василь Миколайович (канд. техн. наук, доц.)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц.)

Члени:

ІЛЮШКО Віктор Михайлович (д-р техн. наук, проф.)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф.)

КАЛІННИКОВ Володимир Геннадійович (д-р фіз.-мат. наук, проф.)

КОРОБКО Богдан Олегович (канд. техн. наук, доц.)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф.)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф.)

МУРАВЛЬОВ Володимир В'ячеславович (канд. техн. наук, доц.)

ПЕШЕХОНОВ Володимир Григорович (академік РАН, д-р техн. наук, проф.)

СІЛЬВЕСТРОВ Антон Миколайович (д-р техн. наук, проф.)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф.)

СУХАНОВ Костянтин Георгійович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ХРАЩЕВСЬКИЙ Рімвідас Вілімович (д-р техн. наук, проф.)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф.)

ЦАРЬОВ Віктор Михайлович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф.)

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar

Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка (протокол № 15 від 18 листопада 2016 року)

Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого наказом
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ГПР від 16.11.2012 р.

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ

Тимощук О.М. Підвищення точності навігаційних вимірів на основі компенсації системних похибок	4
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	---

КОНТРОЛЬ ПОВІТРЯНОГО І КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Мозилатенко А.С., Обидин Д.Н., Павленко М.А., Бердник П.Г. Аналіз методів формалізації процесу управління інформаційним потоком повідомлень о повітряних об'єктах в автоматизованій системі управління регіональних центрів управління повітряним рухом	7
Шульга О.В., Шеффер О.В. Синтез оптимального алгоритму обробки сигналів неконтрольованого випромінювання для ідентифікації об'єктів	11

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

Гулін І.Г., Мартиненко А.А., Гулін О.О. Принципи побудови систем керування тепловим станом доменної печі	14
Захарченко Р.В. Розв'язане керування багатовимірними системами	18
Кононов Б.Т., Куравська Н.М. Вплив вищих гармонік на роботу дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	21
Кучук Г.А., Коваленко А.А. Автоматичний контроль та управління параметрами ДТЗ-графіка комп'ютерних систем критичного призначення	24
Лимаренко В.В., Хавина І.П. Мультиагентна система управління роботою механообробляючого цеха	29
Петренко О.М., Любарський Б.Г. Оптимізація режимів руху трамвайного вагону з асинхронними тяговими двигунами на ділянці колії з встановленим графіком руху та профілем	36
Сільвестров А.М., Скринник О.М., Спінул Л.Ю. Оцінювання статичної нелінійної складової динамічної системи	41

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

Голян Н.В. О свойствах канонической алгебры понятий	44
Хох В.Д., Мелешко Є.В., Якименко М.С. Дослідження методів побудови експертних систем	48
<u>Шабанов-Кушнарєнко Ю.П.</u> , Шабанов-Кушнарєнко С.Ю., Шабанова-Кушнарєнко Л.В. О перспективах теории интеллекта	53

КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА

Бурячок В.Л., Смирнов С.А. Метод безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в облачные антивирусные системы	57
Глазчев М.І., Баленко О.І. Формування програмного комплексу захисту комерційного програмного забезпечення персонального використання	63
Мелешко Є.В., Гермак В.С., Охотний С.М. Дослідження методів визначення центральності акторів у соціальних мережах для задач інформаційної безпеки	67
Шульга В.П. Метод оцінки пошкоджень сервісів безпеки телекомунікаційної системи авіатранспортного комплексу	71

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Косенко В.В., Артюх Р.В., Персіянова О.Ю. Управління розподілом трафіку підмереж багаторівневої адаптивної інформаційно-телекомунікаційної мережі	73
Кучук Н.Г. Аналіз сучасних технологій і розробок e-Learning	76
Минько О.В., Іохов О.Ю., Оленченко В.Т., Власов К.В. Використання технологій OSINT для отримання розвідувальної інформації	81
Обод І.І., Манько К.П., Шталтовний Д.В. Аналіз інформаційних процесів в системі контролю повітряного простору	85
Олизаренко С.А. Метод формалізації знань о розпізнаванні складних об'єктів на основі нечеткой кластеризации и нечеткого логического вывода	88
Свид І.В., Обод А.І. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження	91
Ткачова Т.С. Організаційно-комунікаційне забезпечення управління підприємством у CLOUD-середовищі	94
Шевяков Ю.І. Метод прогнозування потреби в метрологічному обслуговуванні засобів вимірювальної техніки на основі удосконалених часових регресійних моделей	97

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

<i>Лысенко Д.Э.</i> Принципы и структура методологии оценивания реализуемости инновационных планов предприятия	101
<i>Ровінська Н.Ю., Виходець Ю.С.</i> Метод прийняття рішень в управлінні змістом проекту	108
<i>Собчак А.П., Попова О.И.</i> Информационная поддержка этапа утилизации изделий сложной наукоемкой техники	114

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Задунай О.С., Азаров С.І.</i> Принципи створення системи оперативного моніторингу екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів на основі мінімізації ризиків	125
<i>Теут В.М.</i> Методика проведення екологічного моніторингу акваторії моря за допомогою спеціалізованого судна	129
<i>Хомік М.М., Барабаш О.В.</i> Оцінка та управління ризиками застосування Збройних Сил України під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій	133

МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

<i>Бурдейна В.М., Хорошилов О.М., Триц А.Р.</i> Нормативне забезпечення точності розмірів координованих отворів малого діаметру	138
<i>Ким Н.И., Триц Р.М.</i> Закономерности рассеивания безразмерных показателей качества объектов различной природы	143
<i>Кіпоренко Г.С., Пахалович М.Є., Хорошилов О.М.</i> Оцінка технічного стану трубопровідних систем АЕС на відповідність нормативним параметрам	146
<i>Малецька О.Є., Денисенко А.М., Мельниченко О.А.</i> Аналіз вимог до компетентності вимірювальних лабораторій підприємств в сучасних умовах	153

ЗВ'ЯЗОК

<i>Петрук С.М.</i> Аналіз методів прогнозування сигнально-завадової обстановки в системах МІМО безпілотних авіаційних комплексів	157
<i>Сакович Л.М., Романенко В.П., Гиренко І.М.</i> Метод обґрунтування складу технологічного обладнання польових ремонтних органів зв'язку	163

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	168
----------------------------------	-----

Навігація

УДК 656.61

О.М. Тимощук

*Київська державна академія водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Київ*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ ВИМІРІВ НА ОСНОВІ КОМПЕНСАЦІЇ СИСТЕМНИХ ПОХИБОК

На основі аналітичного огляду розвитку навігаційно-інформаційних комплексів, показані основні чинники, що впливають на точність судноводіння та похибок виміру навігаційних параметрів. Викладено прагматичний підхід до компенсації системних похибок при визначенні навігаційних параметрів судна. Показані напрями врахування похибок системного характеру для підвищення точності визначення місцезнаходження судна.

Ключові слова: похибка, поправка, навігаційні виміри, прогнозування, помилка вимірів.

Вступ

Актуальність теми. Одну з важливих напрямків для забезпечення безпеки управління і навігації водних об'єктів грає радіонавігаційні і радіолокаційні системи для судноводіння і визначення їх координат [1]. При цьому, в яких би точках світу не знаходилося судно воно забезпечується надійною інформацією про своє місцезнаходження. Сучасні судові транспортні засоби обладнуються різними радіосистемами навігації і управління рухом, які підвищують безпеку мореплавання в складних метеорологічних умовах [1, 2]. Вирішальну роль в підвищенні безпеки мореплавання судна і практичному його використанні, є застосування радіосистем судноводіння. Це дає можливість підвищити не тільки безпеку, але і швидкість їх пересування [1, 2]. Але завдання що пов'язано з підвищенням безпеки мореплавання є актуальним, тому що залишається людський фактор впливу (рівень професійної компетентності судноводів) та якість обробки та аналізу навігаційної інформації, що пов'язано з вмінням об'єктивно оцінювати безпеку плавання і приймати ефективні заходи [3].

Аналіз джерел літератури [1-4] показав, що на початковому етапі радіолокація успішно застосовувалася тільки в управлінні судном в портах. Однак, з розвитком радіонавігаційних і радіолокаційних пристроїв дало можливість забезпечити створення і розвиток навігаційно-інформаційних систем (НІС) з автоматизацією процесу судноводіння. При цьому, в основу аналізу ступеня навігаційної безпеки судноводіння є оцінка точності місцезнаходження судна та його елементів руху, її зіставлення з допустимими похибками при різних умовах експлуатації.

Починаючи з 80-х років інформаційно-комунікаційні технології знаходять активне застосування в системах різних галузях, включаючи і транспорт,

що забезпечує підвищення їх ефективності [5]. Одним із прикладів впровадження цих технологій на судах стали НІС з електронними картами [1, 5]. Тоді вони виконували в основному функції відеопрокладки, що було перевагою перед врахуванням руху судна на паперовій карті [4, 5]. Серед них виділяють електронні відображають карти інформаційні системи і просто системи з електронними картами [3]. При цьому, з розвитком НІС підвищилися рівні безпеки і автоматизація управління рухом судна. Слід зазначити, що судові НІС поки не є остаточно розробленою системою зі сталим переліком завдань і функцій. Навіть вимоги офіційних організацій таких як міжнародна морська організація не визначені остаточно до НІС. Ряд з них виступає лише в якості рекомендацій і пропозицій, а не стандартів що можливо застосовувати. Тому в останній час НІС знаходяться в стані активного розвитку і визначення кола завдань, що пов'язані з управлінням і навігацією водного транспорту [4].

На сьогоднішній день до числа основних завдань, що вирішуються в даний час на борту морських рухомих об'єктів (МПО), тобто кораблів і морських суден різного призначення, відносяться завдання навігації і автоматичного управління рухом, а також завдання початкової виставки та стабілізації бортових приладів різних корабельних споживачів. При цьому, вдосконалення сучасного НІС МПО останнім часом обумовлено [3 – 5]: жорсткістю вимог міжнародної морської організації (ІМО) щодо забезпечення навігаційної безпеки плавання; необхідністю в інформаційному забезпеченні систем автоматичного управління рухом МПО, які потребують вирішення завдань управління рухом по заданій траєкторії або динамічного позиціонування в точці без істотних обмежень по гідрометеоумовам; а також вимогами різних корабельних споживачів до інформації про параметри руху об'єкта в умовах

наявності значного рівня природних або штучних перешкод. Особливістю впливу на радіонавігаційні параметри є зміна електромагнітного сигналу в атмосфері. Тому виникає необхідність передусім розглянути методи оцінки похибок навігаційних інформації та способи їх обробки, що ведуть до зменшення цих похибок.

Постановка завдання. Результат вимірювання навігаційної величини не є абсолютно точним. Кожне вимірювання, яким би точним приладом воно не здійснювалося, містить похибку, обумовлену неврахованими факторами, що впливають на умови вимірювання. В першу чергу необхідно компенсувати системні похибки, які закономірно впливають на точність судна. Таким чином, виникає необхідність розвинути науково-методичний апарат що здійснює врахування похибок системного характеру для підвищення точності знаходження місцеположення судна.

Виклад основного матеріалу

Для компенсації систематичних похибок вимірювань навігаційних величин здійснюється на основі поправок [6]. Поправки визначаються за еталонним значенням навігаційних величин і, як правило, епізодично. У проміжках між двома послідовними визначеннями поправок для виправлення вимірюваних результатів використовуються прогнозовані поправки. Розглянемо існуючі види поправок різного характеру що враховують при судноплаванні [6, 7].

I вид. Поправка, яка по своїй фізичній суті протягом розглянутого інтервалу часу не змінюється. До цього виду відносяться: постійна поправка гірокомпаса, обумовлена розворотом основного приладу відносно діаметральної площини судна; поправка пеленга за рахунок розвороту пелоруса щодо діаметральної площини судна; коефіцієнт девіації магнітного компаса при незмінності положення металевих конструкцій; коефіцієнт радіодевіації «А», кут дрейфу судна при певних силі і курсовому вугіллі вітру і при постійному завантаженні і т.п. Тому дані поправки на будь-якому інтервалі часу τ , що пройшов після його останнього визначення, здійснюється приймання тих значень, які були отримано в момент останнього визначення $\Delta\tilde{U}_i \cong \Delta U_0$. При цьому, точність визначення поправки за еталонном і розраховується виразами

$$\sigma_{\Delta U_0} = \sigma_{U'} / \sqrt{n'} \quad \text{і} \quad \sigma_{\Delta U_0} = \sqrt{(\sigma_{U'}^2 + \sigma_e^2) / n'}, \quad (1)$$

де $\sigma_{U'}$ – середня квадратична помилка (СКП) вимірювань за якими визначається поправка; σ_e – СКП еталонного вимірювання; n' – кількість вимірювань, виконаних при визначенні поправки.

II вид. Поправка після моменту її визначення змінюється випадковим чином як стаціонарна випадкова функція. До цього виду відносяться: напрямок і швидкість зносу судна течією, поправки радіонавігаційних параметрів, вимірюваних на просторовій радіо-

хвилі, поправка за рискання для судна на хвилюванні і т. п. При зміні поправок за законом випадкової функції їх прогнозування може здійснюватися на основі кореляційного взаємозв'язку: фіксуючи значення похибки в один момент часу, з допомогою кореляційної функції прогнозується в імовірнісному сенсі величина похибки у заданий момент часу. Принципово можливі такі способи прогнозування поправки на основі використання стаціонарних випадкових функцій: за її останнім значенням за її математичним сподіванням; з допомогою рівняння регресії.

Перший спосіб – розрахунок поправки за її останнім значенням. В якості прогнозу, як і в попередньому випадку, використовується та поправка ΔU_0 , причому $\Delta\tilde{U}_\tau = \Delta U_0$. В даному випадку це найпростіший спосіб прогнозу, який не вимагає ніяких обчислювальних операцій, тому він широко використовується в сучасній практиці судноводіння [7]. Враховуючи випадкову мінливість поправки на інтервалі прогнозу τ , точність такого прогнозування невелика.

Визначимо СКП поправки, що прогнозується, тобто величини σ_τ . При цьому помилка прогнозу буде складати $\Delta = \Delta\tilde{U}_\tau - \Delta U_\tau$ (де ΔU_τ – фактичне значення поправки на момент прогнозу). Так як $\Delta U_\tau - \Delta U_0$, то помилка прогнозу можливо представити як $\Delta = \Delta U_0 - \Delta U_\tau$. Нехай $M(\Delta) = 0$. Тоді на підставі визначення дисперсії квадрат СКП прогнозу $\sigma_\tau^2 = M(\Delta^2) = M(\Delta U_0^2) - M(2\Delta U_0 \Delta U_\tau) + M(\Delta U_\tau^2)$.

Так як стаціонарна випадкова функція, то $M(\Delta U_0^2) - M(\Delta U_\tau^2) = \sigma^2$, $M(2\Delta U_0 \Delta U_\tau) = 2K(\tau)$, де σ^2 і $K(\tau)$ – дисперсія і кореляційна функція.

$$\text{Тоді} \quad \sigma_\tau^2 = 2[\sigma^2 - K(\tau)]. \quad (2)$$

Так як $K(\tau) = \rho(\tau)\sigma^2$, то вираз (2) буде таким:

$$\sigma_\tau^2 = 2\sigma^2[1 - \rho(\tau)]. \quad (3)$$

Точність прогнозу збільшується зі зменшенням інтервалу τ . Дійсно, при $\tau=0$ нормована кореляційна функція $\rho(\tau)=1$ і тоді, як визначається з (3), буде $\sigma_\tau = 0$. При $\tau > \tau_0$ нормована кореляційна функція $\rho(\tau) \approx 0$ і тоді $\sigma_\tau = 2\sigma^2$.

Другий спосіб – визначення поправки здійснюється за допомогою математичного очікування. Так, для розрахунку значення поправки приймається її математичне сподівання $\tilde{U}_\tau = M(\Delta U)$.

Прогнозоване значення не залежить від прогнозу часу τ . Більше того, тут не використовується жодна інформація про останньому визначенні поправки. Помилка прогнозу $\Delta = \Delta U_\tau - M(\Delta U)$, де ΔU_τ – фактичне значення поправки на момент прогнозу. На основі визначення дисперсії відразу отримуємо

$$\sigma_{\tau}^2 - M(\Delta^2) = M[\Delta U_{\tau} - M(\Delta U)]^2 = \sigma^2. \quad (4)$$

Таким чином, точність прогнозу відповідає дисперсії випадкових флуктуацій поправки і не залежить від інтервалу прогнозу τ . Порівнюючи результати формули (4) з формули (3), що характеризує точність першого способу, видно, що перший спосіб дає більш високу точність. При інтервалах прогнозу, яким відповідають значення нормованих кореляційних функцій $\rho(\tau) < 0,5$, слід користуватися другим способом.

Третій спосіб – розрахунок поправки з допомогою рівняння регресії. За прогнозоване значення поправки приймається умовне математичне сподівання поправки, яка визначається за виміряною в якийсь момент часу t поправці ΔU_t :

$$\Delta \tilde{U}_{\tau} = M(\Delta U_{t+\tau}) + \rho(\tau) \cdot (\sigma_{t+\tau} / \sigma_t) \cdot [\Delta U_t - M(\Delta U_t)],$$

де $M(\Delta U_{t+\tau})$ та $M(\Delta U_t)$ – математичні сподівання поправки в моменти часу $t+\tau$ і t відповідно; $\sigma_{t+\tau}$ і σ_t – середні квадратичні відхилення випадкової функції в моменти $t+\tau$ та t відповідно. Оскільки випадкова функція поправок стаціонарна, то $M(\Delta U_{t+\tau}) = M(\Delta U_t) = M(\Delta U)$ та $\sigma_{t+\tau} = \sigma_t = \sigma$. Тоді рівняння регресії має вигляд

$$\Delta \tilde{U}_{\tau} = M(\Delta U) + \rho(\tau) [\Delta U_t - M(\Delta U)]. \quad (5)$$

Середнє квадратичне відхилення поправки σ_{τ} такого розрахунку визначається дисперсією умовного математичного очкування [6]

$$\sigma_{\tau}^2 = \sigma^2 [1 - \rho^2(\tau)]. \quad (6)$$

Таким чином, за умови значень нормованої кореляційної функції $0 < \rho(\tau) < 1$ точність прогнозу третім способом буде вище точності прогнозування першими двома способами. При умові $\rho(\tau) = 0$ точність визначення третім способом збігається з точністю до другого способу, а при $\rho(\tau) = 1$ відповідає з точністю першого способу. Максимальний виграш в точності прогнозування даними способом (щодо двох перших) досягається при $\rho(\tau) = 0,5$.

Висновки по роботі

Таким чином, в статті представлений підхід щодо визначення системних поправок до навігаційних вимірювань. При цьому, поправки третім способом завжди краще, ніж іншими способами. Але для цього необхідно знати всі характеристики випадкового процесу. Якщо в першому та третьому способи розрахунку раніше визначена за допомогою еталона поправки містить випадкову похибку за рахунок неточності вимірювального приладу або еталону, то формули (3), (4) і (7) необхідно ввести додатковий доданок $\sigma_{\Delta U}^2$, обчислений за (1).

У тому випадку, якщо прогнозованої поправки виправляються кілька результатів вимірювання, то величина σ_{τ} для цих вимірювань набуває повторюваний характер, тобто $\sigma_{\tau} = \sigma_0$.

Список літератури

1. Вагуценко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы / Вагуценко Л.Л. – Одесса: Фелікс, 2004. – 302 с.
2. Судовая радиоэлектроника и радионавигационные приборы / А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков, А.А. Ильин и др. – М.: Транспорт, 1988. – 271 с.
3. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / Под ред. В.Г. Пешехонова. – СПб.: 1999. – 357 с.
4. Кравцов Ю.А. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли / Ю.А. Кравцов, З.И. Фейзулин, А.Г. Виноградов. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
5. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Лобкова Л.М. – М.: Радио и связь, 1991. – 256 с.
6. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1981. – 206 с.
7. Осипов Л.А. Обработка сигналов на цифровых процессорах / Осипов Л.А. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.

Надійшла до редколегії 29.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЕНСАЦИИ СИСТЕМНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Е.Н. Тимошук

На основе аналитического обзора развития навигационно-информационных комплексов показаны основные факторы, влияющие на точность судовождения и погрешностей измерения навигационных параметров. В статье изложен прагматический подход к компенсации системных погрешностей при определении навигационных параметров судна. Показаны направления учета погрешностей системного характера для повышения точности определения местоположения судна.

Ключевые слова: погрешность, поправка, навигационные измерения, прогнозирование, ошибка измерений.

NAVIGATION MEASUREMENTS ACCURACY INCREASE BASED ON SYSTEM ERRORS COMPENSATION

O.M. Timoschuk

Based on analytic review of navigation and information complexes development most important factors that influence the accuracy of ship control and navigation parameters errors measurements are indicated. This article proposes a pragmatic approach to compensation of system errors during ship navigation parameters determination. The directions to account for system-type errors to improve the accuracy of the ship location determination are shown.

Keywords: error, correction, navigation measurements, forecast, measurement error.

Контроль повітряного і космічного простору

УДК 681.51:623.592

А.С. Могилатенко¹, Д.Н. Обидин², М.А. Павленко³, П.Г. Бердник⁴

¹ Воинская часть А0593, Никополь

² Кировоградская летная академия НАУ, Кропивницкий

³ Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

⁴ Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОТОКОМ СООБЩЕНИЙ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Необходимым условием решения задач управления в региональном центре управления воздушным движением является наличие радиолокационной информации о воздушных объектах. Обеспечение радиолокационной информацией регионального центра управления воздушным движением является одной из функций автоматизированной системы управления регионального центра управления воздушным движением и представляет собой совокупность взаимосвязанных мероприятий по выявлению, сбору, обработке, анализу и выдаче данных о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на региональном центре управления воздушным движением.

Ключевые слова: анализ, метод, управление воздушным движением.

Анализ методов формализации процесса управления информационным потоком сообщений о ВО в АСУ региональных ЦУВД

Адаптивный подход предусматривает функционирование системы в условиях априорной неопределенности и обеспечивает приспособление к непредвиденным изменениям свойств объекта управления и внешней среды [1]. Под адаптацией понимают процесс целенаправленного изменения параметров, структуры или свойств системы на основании информации, полученной в процессе выполнения основных функций с целью требуемого функционирования системы при изменяющихся условиях [2].

Структурная схема адаптивной системы [2] изображена на рис. 1 и представляет собой замкнутый контур, включающий в себя: объект управления, устройство идентификации, решающее устройство и устройство управления.

В соответствии со схемой на рис. 1 адаптивные системы управления предполагают выполнение трех процедур [1 – 4]:

1) определение динамических характеристик среды и объекта управления в процессе функционирования (устройство идентификации);

2) оценивание состояния объекта управления (решающее устройство);

3) формирование управляющих сигналов на основе информации, получаемой с помощью первых двух процедур (устройство управления).

Определим аналогичные структурные элементы для адаптивной подсистемы обеспечения радиолокационной информацией (РЛИ) регионального центра управления воздушным движением.

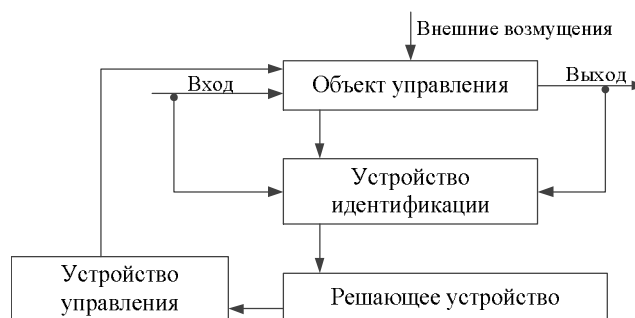


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы

Объектом управления в этом случае является поток сообщений о воздушных объектах (ВО) от источника радиолокационной информации, а внешним возмущениям соответствует подавление элементов автоматизированной системы управления (АСУ) регионального центра управления воздушным движением (ЦУВД). При этом можно выделить основные задачи адаптивного управления, соответствующие вышеуказанным процедурам:

1) задача розпознавання ситуацій застосування методів зчитування та видачі повідомлень про ВО для інформаційного потоку РЛІ;

2) задача розподілення методів зчитування та видачі РЛІ за повідомленнями про ВО;

3) задача безпосереднього змінення структури повідомлень про ВО.

Для розв'язання першої та другої задачі необхідно розробити рішеннячі правила, а для розв'язання третьої задачі - протокол формування та обробки повідомлень про ВО з змінною структурою. При цьому рішеннячі правила, згідно з визначеними принципами, повинні розроблятися з використанням інтелектуальних інформаційних технологій. Однією з основних задач застосування інтелектуальних інформаційних технологій є представлення знань про досліджувану предметну область. Під представленням знань розуміється сукупність методів, способів форм та моделей структурування зображення та формалізації знань [5]. Проведемо аналіз відомих методів представлення знань про задачі управління

Логічні методи представлення знань [6-8]. Ці методи, дозволяють представити знання у вигляді теорем, що передбачає визначення посылок (множество відомих істинних тверджень), що дозволяють сформулювати теорему. Доказовість теорем дозволяє отримати рішення початкової задачі. Відсутність строгої процедури вибору аксіом для логічного виводу; та можливість не отримати результату рішення за обмежене час обмежують застосування логічних методів для представлення знань про задачі формування та видачі повідомлень про ВО.

Методи представлення знань, засновані на мережах Петрі [9, 10]. Данні методи дозволяють докладно та наочно описувати паралельні вичислювальні процеси, тому їх застосування цілеспрямовано при розробці вичислювальних систем та моделей для тестування інтелектуальних систем. Однак вони не придатні для представлення знань про задачі формування та видачі повідомлень про ВО.

Нейромерев'яні методи представлення знань [11, 12]. Данні методи є універсальними, тому можуть застосовуватися для представлення знань про задачі будь-якої предметної області. Однак це вимагає значущих часових та вичислювальних витрат, що не дозволить організувати видачу повідомлень про ВО без затримок. Крім того, нейромерев'яне представлення є громоздким та важко модифіковуваним.

Методи представлення знань, засновані на логіці категорій [13]. Згідно з положеннями теорії категорій, для розв'язності методу необхідно встановити всі можливі відносини (морфізми) між об'єктами, що в умовах жорстких времен-

них рамок прийняття рішення та невизначеності початкової інформації є неможливим. Тому застосування логіки категорій не прийнятно для представлення знань про задачі формування та видачі повідомлень про ВО.

Методи представлення знань на основі фреймів [8, 13, 14]. Перевагою даних методів є наочність та природність опису різноманітних ситуацій. Разом з тим, фрейм є множиною описань (слотів), що знаходяться в визначених взаємних відносинах, а слоти пов'язані з процедурами, що передають управління один одному з допомогою обміну повідомленнями, що зменшує можливості адаптації при управлінні інформаційним потоком повідомлень про ВО.

Методи представлення знань у вигляді продукцій [8, 13, 14]. Продукції представляють собою правила виду «Якщо А то В», що пов'язує їх універсальність, застосовність до широкого кола задач, модульності організації знань та декларативність їх представлення.

З допомогою продукцій зручно описувати умови застосування керуючих впливів, що дозволяє застосовувати продукції для представлення рішеннячіх правил застосування окремих методів зчитування повідомлень та управління дискретністю їх видачі. Однак оперативність виводу рішення в системі продукцій різко зменшується з збільшенням правил, що може призвести до затримки повідомлень про ВО при їх видачі.

Мережеві методи представлення знань [15]. Мережеве представлення знань просте та зрозуміле для сприйняття з-за описування та обробки знань в термінах предметної області, звичних для людини. При цьому існує можливість контролю коректності знань та забезпечується кінцевість процедури логічного виводу. Однак представлення окремих задач адаптивного управління з допомогою мережі буде громоздким з-за численних умов застосування методів зчитування та видачі повідомлень про ВО, що зменшує оперативність виводу рішення.

Таким чином, аналіз існуючих методів представлення знань показав, що жоден з них не відповідає вимогам щодо забезпечення представлення знань про процес формування та видачі повідомлень про ВО в АСУ регіонального ЦУВД. Тому виникає необхідність додаткових досліджень, зокрема мережеві та продукційні методи представлення знань можуть бути взяті за основу при розробці методу формалізації задач формування та видачі повідомлень про ВО в АСУ регіонального ЦУВД.

Постановка задачі досліджень

Аналіз змісту та особливостей забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД в сучасних умо-

виях показав, що використання існуючих методів погодження продуктивності джерел РЛІ з пропускною здатністю каналів передачі даних (ПД) в ситуаціях їх перевантажень може призвести до суперечності між необхідною і реалізуваною точністю і повнотою забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД. Розв'язання даного супереччя спрямовано на забезпечення регіонального ЦУВД необхідною РЛІ для оцінки повітряної обстановки. Організація такого забезпечення є важливою практичною задачею підсистеми інформаційного забезпечення АСУ регіонального ЦУВД [16].

Розв'язання даної задачі можливо з допомогою спеціального методу формування і видачі повідомлень о ВО, що дозволяє адаптувати розмір і дискретність видачі повідомлень о ВО до змін у продуктивності джерел РЛІ і пропускної здатності каналів ПД. Розробка такого методу є важливим науковим завданням при розробці математичного і програмного забезпечення перспективних АСУ регіонального ЦУВД.

В ряду робіт викладені сучасні підходи до розв'язання окремих завдань інформаційного забезпечення в АСУ регіонального ЦУВД:

використання змінної структури повідомлень о ВО [17, 18];

зменшення телеметричної інформації [19-21];

визначення важливості (ступеня небезпечності) ВО;

принципи управління інформаційним потоком в системі ПД [1-4];

використання інтелектуальних інформаційних технологій для формалізації завдань управління динамічними системами.

Разом з тим, запропоновані в даних роботах рішення не враховують особливості забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД, пов'язані з різною смисловою інтерпретацією інформаційних елементів в повідомленнях о ВО, помилками оцінювання координатної інформації і різними вимогами до якості РЛІ о ВО в залежності від етапу дій по ним. Тому питання формування і видачі повідомлень о ВО від джерел РЛІ на АСУ регіонального ЦУВД потребують подальших досліджень, чому і присвячена дана робота.

Завдання досліджень обмежимо рішенням наступних окремих завдань:

1) розробка методів зменшення повідомлень о ВО і управління дискретністю їх видачі від джерел РЛІ на АСУ регіонального ЦУВД;

2) розробка методу управління інформаційним потоком повідомлень о ВО від джерел РЛІ в АСУ регіонального ЦУВД з використанням інтелектуальних інформаційних технологій;

3) оцінка ефективності використання розробленого методу формування і видачі повідомлень о ВО і запропоновані до його застосування

АСУ регіонального ЦУВД. Розроблені група методів повинні забезпечити необхідні значення показників повноти і точності забезпечення РЛІ АСУ регіонального ЦУВД.

Висновки

1. Аналіз змісту процесу забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД показав, що в умовах інтенсивного подавлення елементів АСУ регіонального ЦУВД може призвести до перевищення необхідної продуктивності джерел РЛІ на 50% над пропускною здатністю каналів ПД.

2. Застосування існуючих методів збільшення або відновлення пропускної здатності каналів ПД (виділення додаткових і використання резервних каналів ПД, а також маршрутизація повідомлень) може бути практично неможливою, внаслідок інтенсивного подавлення системи ПД. Застосування існуючих методів зменшення продуктивності джерел РЛІ (групування (збільшення) ВО; селекція (відбір) ВО для їх видачі; збільшення дискретності видачі РЛІ для всіх ВО; стиснення даних) зменшують повноту і точність забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД.

3. Оцінка повноти і точності забезпечення РЛІ регіонального ЦУВД показала, що при використанні існуючих методів зменшення продуктивності джерел РЛІ не забезпечуються необхідні значення показника повноти (коефіцієнта провідності трас $K_{пр} \geq 0,88$) і точності (с.к.о. координатної РЛІ $\sigma \leq 1000$ м.) по причині фіксованої структури повідомлень о ВО і дискретності їх видачі в АСУ регіонального ЦУВД.

4. Використання міжнародного протоколу обміну РЛІ ASTERIX з змінною структурою повідомлень о ВО дозволяє зменшити продуктивність джерела РЛІ за рахунок зменшення інформаційних елементів. Однак існуючі методи зменшення не враховують неоднорідність семантичної інтерпретації інформаційних елементів в повідомленнях і помилки координат ВО, що не забезпечує необхідного зменшення повідомлень о ВО. Це обумовлює необхідність додаткових досліджень в області зменшення даних.

Аналіз вимог до якості РЛІ по ВО показав, що забезпечити обґрунтоване управління дискретністю видачі повідомлень о ВО можна на основі спільної оцінки важливості РЛІ для споживача, підліткового часу ВО до встановлених рубежів і необхідної точності РЛІ. Це обумовлює необхідність додаткових досліджень по оцінці важливості РЛІ для споживача і її спільного врахування з вказаними факторами.

5. Для обґрунтованої оцінки характеристик повітряної обстановки і вибору відповідних методів зменшення і видачі повідомлень з викорис-

нием знаний об исследуемой предметной области, учитывающих опыт специалистов, целесообразно использовать адаптивный подход к управлению информационным потоком РЛИ на основе интеллектуальных информационных технологий. Анализ существующих методов представления знаний показал, что ни один из них не соответствует требованиям по обеспечению представления знаний о задачах формирования и выдачи сообщений о ВО в АСУ регионального ЦУВД, что обуславливает необходимость дополнительных исследований.

6. Противоречие между требуемой и реализуемой полнотой и точностью обеспечения РЛИ регионального ЦУВД и недостаточная развитость теоретической базы для его разрешения обуславливают необходимость проведения дальнейших исследований в соответствии с направлениями, изложенными в постановке задачи.

Список литературы

1. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом / В.Н. Буков. – М.: Наука, 1987. – 232 с.
2. Советов Б.Я., Стах В.М. Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления. – Л.: Энергоиздат., 1982. – 120 с.
3. Кунцевич В.М. Адаптивное управление: алгоритмы, системы, применение. – К.: Вища школа, 1988. – 64 с.
4. Куропаткин П.В. Оптимальные и адаптивные системы: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 287 с.
5. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. – ІС: Держстандарт України, 1994. – 15 с
6. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука, 1988. – 384 с.
7. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 360 с.
8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
9. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри, параллельные модели и алгоритмы мультипроцессорных систем. – К.: Наукова думка. 1990. – 216 с
10. Питерсон Д. Теория сетей Петри и моделирование систем / Д. Питерсон. – М.: Наука. 1988. – 263 с.
11. Круглов В.В., Борисов В.В.. Искусственные нейронные сети Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком. 2001. – 381 с.
12. Борисов В.В. Основы построения нейронных сетей / В.В. Борисов, В.В. Круглов, Е.В. Харитонов. – Смоленск: ВУ ПВО ВС РФ. 1999. – 297 с.
13. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек и др. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.
14. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. – М.: Радио и связь. 1985. – 373 с.
15. Ярушек В.Е. О формализованной модели для планирования действий управляемых объектов в динамической среде // Проблемы бионики. Вып. 29. – Х.: Вища школа, 1982. – С. 88-95.
16. Глебов Ю.В., Абрамов В.А. Автоматизация боевого управления в войсках ПВО. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – 230 с.
17. Eurocontrol standard document for radar dataexchange, Part 1 - All Purpose Structure- Eurocontrol Radar Information Exchange (ASTERIX), (Ref: SUR.ET1 .ST05.2000 - STD-01-01), November 1997, 59 p.
18. Дж. Ирвин, Д. Харль. Передача данных в сетях: инженерный подход: перевод с англ. – СПб.: БХВ - Петербург, 2003. – 448 с.
19. Амелькин В.А. Методы нумерационного кодирования. – Новосибирск: Наука, 1986. – 158 с.
20. Колесник Ю.В., Литвин А.И., Подгорный О.В. Сжатие сообщений с помощью метода кодирования длин серий // Электронное моделирование. – 1995. – Т. 17, № 2. – С. 90-92.
21. Ольховский Ю.Б. Сжатие данных при телеизмерениях / Ю.Б. Ольховский, О.Н. Новоселов, А.П. Мановцев. Под ред. В.В. Чернова. – М.: Сов. радио, 1971. – 304 с.

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКОМ ПОВІДРОМЛЕНЬ ПРО ПОВІТРЯНІ ОБ'ЄКТИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

А.С. Могілатенко, Д.Н. Обидин, М.А. Павленко, П.Г. Бердник

Необхідною умовою вирішення завдань управління в регіональному центрі управління повітряним рухом є наявність радіолокаційної інформації про повітряні об'єкти. Забезпечення радіолокаційної інформацією регіонального центру управління повітряним рухом є однією з функцій автоматизованої системи управління регіонального центру управління повітряним рухом і являє собою сукупність взаємопов'язаних заходів по виявленню, збору, обробки, аналізу і видачі даних про повітряні об'єкти від джерел радіолокаційної інформації на регіональному центрі управління повітряним рухом.

Ключові слова: аналіз, метод, управління, управління повітряним рухом.

ANALYSIS METHODS FORMALIZATION OF THE PROCESS INFORMATION MANAGEMENT REPORTING OF AIR OBJECTS IN THE AUTOMATED SYSTEM OF REGIONAL AIR TRAFFIC CONTROL CENTER. PROBLEM RESEARCH

A.S. Mohilatenko, D.N. Obidin, M.A. Pavlenko, P.G. Berdnik

A necessary condition for control tasks in the regional air traffic control center is the availability of radar information on air facilities. Providing radar information of the regional air traffic control center is one of the functions of the automated control system of regional air traffic control center and is a set of interrelated measures for the identification, collection, processing, analysis and delivery of data on air targets from radar data sources at the regional air traffic control center.

Keywords: analysis, method, management, air traffic control.

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, О.В. Шефер

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ НЕКОНТРОЛЬОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Проведений аналіз функціонування системи ідентифікації наземних рухомих об'єктів (РО) та космічних апаратів (КА), яке, залежить від можливості прийому радіосигналів неконтрольованих випромінювань (НКВ) КА і алгоритмів обробки цих сигналів. Прийом сигналів малої потужності (порядку 10^{-8} Вт), якими є сигнали НКВ, залежить від технічних характеристик використовуваних радіотехнічних станцій (РТС) і особливої складності при певних умовах не представляють. Визначено, що питання обробки таких сигналів, наприклад підвищення достовірності і оперативності цієї обробки в достатній мірі не вивчені. Це обумовлено тим, що процеси нестабільності задавальних генераторів бортових радіотехнічних станцій (ЗГБРТС), що служать для ідентифікації КА, визначають необхідність вибору оптимального алгоритму обробки інформації про ці процеси з оцінкою параметрів обраної моделі на тлі адитивного шуму вимірювань.

Ключові слова: ідентифікація, компонент процесу ідентифікації, адитивний шум вимірювань, дискретні алгоритми, фазова обробка сигналів, авторегресійна модель, космічний апарат (КА).

Вступ

Особливий інтерес при визначенні вибору оптимального алгоритму обробки інформації представляє спільне дослідження повільно змінних $m(t)$ і швидкозмінних $n(t)$ компонентів процесу ідентифікації $g(t)$. Відомі алгоритми обробки сигналів [1, 2] враховують заважаючий вплив в РТС, як правило, гауссівського характеру. Існуючі прийоми і методи обробки в умовах негауссових перешкод призводять до суттєвого ускладнення алгоритмів необхідних обчислень, що значно позначається на швидкодії і якості ідентифікації НКВ. В даний час велике поширення набула фазова обробка сигналів, здійснювана на основі аналізу точок перетину прийнятих сигналом нульового рівня [3]. Однак ступінь впливу виборчих ланцюгів РТС на розподіл точок перетину нульового рівня не досліджені. Крім цього існує певна трудність побудови алгоритму обробки складових сигналів, якими є сигнали НКВ. Тому, застосування засобів обчислювальної техніки для обробки таких сигналів робить також актуальною розробку принципів побудови дискретних алгоритмів, що дозволяють при допустимих втратах у порівнянні з оптимальною обробкою, побудувати більш прості алгоритми обробки сигналів НКВ.

У цій статті також розглянуті принципи обробки сигналів НКВ, що дозволяють виконати "нормалізацію" заважаючих впливів, здійснювати функціональне перетворення в аналого-цифрових алгоритмах і виконувати фазову обробку сигналів на виході частотно-виборчих ланцюгів на основі точок перетину нульового рівня.

Мета статті: вивчення загальних закономірностей впливу факторів негауссових перешкод на

обробку сигналів НКВ та розробка алгоритмів ідентифікації – оцінювання процесів нестабільності частоти задаючих генераторів КА.

Основна частина

Основні особливості процесів нестабільності частоти задавальних генераторів визначають вимоги до алгоритмів оцінювання параметрів моделей нестабільності. Основною відмінністю доданка $g(t)$ процесу є його вельми повільне зміна на інтервалі спостереження. Тому доцільно вважати його постійним на цьому інтервалі і не розглядати в аналізі моделей нестабільності.

Складова $m(t)$ – локально стаціонарний процес з досить великим часом кореляції. Як зазначалося раніше, для визначення його характеристик доцільно використовувати методи найменших квадратів [4] або динамічної фільтрації [5]. З метою зменшення обчислювальних витрат і підвищення оперативності представляється необхідним використовувати їх рекурентні модифікації з залученням в обробку порівняно невеликої частини накопиченої інформації.

Компонента процесу $n(t)$ описує швидкі флуктуації змін фази в часі, найбільш інформативні в плані виявлення особливостей задаючих генераторів. Більш висока інформативність $n(t)$ порівняно з $m(t)$ обумовлена наявністю в компоненті $m(t)$ відповідних невідомого доплерівського зсуву частоти. Наявність доплерівського зсуву часто призводить до неможливості ідентифікації генераторів по компоненті $m(t)$.

Будемо розглядати компоненту $m(t)$ процесу зміни фази $\varphi(t)$ в рамках моделі, описуваної рівняннями стану і спостереження

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Fx(t) + Gg(t); \\ m(t) = Hx(t). \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} z(t) = H_1 m(t) + n(t); \\ z(t) = \phi(t) - g(t). \end{cases} \quad (2)$$

маючи на увазі, що процес $n(t)$ вважається білим шумом остільки, оскільки час його кореляції істотно менше часу кореляції складової $m(t)$. Дана модель буде використана для побудови модифікації алгоритму динамічної фільтрації.

Крім того, слід розглянути оцінювання параметрів моделі компоненти $m(t)$ для методу найменших квадратів

$$Z(t) = AM(t) + n(t).$$

де A – матриця зв'язку; $M(t)$ – вектор оцінюваних по МНК параметрів лінійної моделі; $n(t)$ – складова,

$$z(t) = \phi(t) - q(t) = m(t) + n(t).$$

Практика дослідження стаціонарних швидко флюктуруючих процесів, подібних $n(t)$, показує високу ефективність застосування для їх опису авторегресійних моделей. Тому надалі опис та аналіз компоненти $n(t)$ буде проводитися в термінах авторегресійних моделей:

$$\begin{cases} y(t) = \sum_{i=1}^n a_i y(t-i) + e_1(t); \\ n(t) = e_1(t) + e_2(t). \end{cases} \quad (4)$$

де a_i – коефіцієнти авторегресійної моделі; $e_1(t)$ – породжуючий шум,

$$e_1(t) = \sum_{i=1}^n a_i n(t-i) + e_1(t-i);$$

$e_2(t)$ – білий шум вимірювань,

$$e_2(t) = e_1(t) - \sum_{i=1}^n a_i e_2(t-i);$$

$y(t)$ – процес зміни фази коливання, викликаний слабо корельованою компонентою нестабільності;

$n(t)$ – складова процесу $\phi(t)$

Отримаємо співвідношення, що визначають алгоритми оцінювання $m(t)$ і $n(t)$ для виразів (1 – 4).

Враховуючи особливості моделі нестабільності проведемо дослідження можливості побудови рекурентного алгоритму МНК на "ковзному" вікні. Для чого перш за все розглянемо лінійну модель складової $m(t)$ процесу зміни фази $\phi(t)$ у вигляді $Z(t) = AN + n(t)$ з вектором вимірювань, де $Z_i \dots Z_n$ – суть вимірювання фази сигналу в момент часу $t_1 \dots t_n$ матрицею $A = [A_1^T, \dots, A_n^T]$ ($A_i^T = [a_1, \dots, a_n]$ – i -й рядок матриці A), вектором оцінюваних параметрів $M = [M_1, \dots, M_r]^T$ і вектором випадкових похибок вимірювань $[n_1, \dots, n_n]^T$; n_1, \dots, n_n – значення компоненти $n(t)$ в момент часу $t_1 \dots t_n$. Оцінка за ме-

тодом найменших квадратів $M(n, n+1)$ може бути отримана на основі вимірів $Z_n \dots Z_{n+1}$ з використанням рядків матриці A з $(i+1)$ до $(n+1)$. Позначимо

$$z(n, n+1) = (z_{n+1}, \dots, z_{n+1})^T,$$

$$A(n, n+1) = [A_{n+1}^T, \dots, A_{n+1}^T].$$

блок, що складається l -рядків матриці. Позначимо

як $\sum(n, n+1)$ похідна $[A^T(n, n+1)A(n, n+1)]^{-1}$.

Тоді оцінка вектора $M(t)$ на момент t_{m+1} при залученні в обробку вимірювань з моменту t_m до t_{m+1} .

$$M(n, n+1) = \sum_{n=1}^T (n, n+1) A^T(n, n+1) z(n, n+1). \quad (5)$$

Еволюція оцінки $M(n, n+1)$ при зміні n описується наступною системою рекурентних співвідношень:

1. Оператор виділення нового вимірювання:

$$\begin{aligned} \hat{M}(n, n+1+1) &= \hat{M}(n, n+1) + K^{(1)}(n, n+1) \times \\ &\times [z_{n+1+1} - A_{n+1+1}^T \hat{M}(n, n+1)], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K^{(1)}(n, n+1) &= \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \times \\ &\times \left[J + A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n, n+1+1) &= \left(J - K^{(1)}(n, n+1) A_{n+1+1}^T \right) \times \\ &\times \sum_{n=1}^T (n, n+1), \end{aligned} \quad (8)$$

де 1 – одинична матриця, або в розгорнутій формі

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n, n+1+1) &= \sum_{n=1}^T (n, n+1) - \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \times \\ &\times \left(A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} + 1 \right)^{-1} \times \\ &\times A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1). \end{aligned} \quad (9)$$

2. Оператор забування:

$$\begin{aligned} \hat{M}(n+1, n+1+1) &= \hat{M}(n, n+1+1) - \\ &- K^{(2)}(n, n+1+1) [z_{n+1} - A_{n+1}^T \hat{M}(n, n+1+1)]. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} K^{(2)}(n, n+1+1) &= \sum (n, n+1+1) A_{n+1} \times \\ &\times \left[J - A_{n+1}^T \sum (n, n+1+1) A_{n+1}^T \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n+1, n+1+1) &= \left(J + K^{(2)}(n, n+1+1) A_{n+1+1}^T \right) \times \\ &\times \sum_{n=1}^T (n, n+1+1). \end{aligned} \quad (12)$$

або в розгорнутій формі

$$\sum(n+1, n+1+1) = \sum(n, n+1+1) A_{n+1} \times \left[J - A_{n+1}^T(n, n+1+1) A_{n+1} \right]^{-1} \times \times A_{n+1}^T \sum(n, n+1+1). \quad (13)$$

Вектори $K^{(1)}$ і $K^{(2)}$ розмірності $r+1$ називають відповідно коефіцієнтом передачі при введенні нового виміру і забуванні. Можна використовувати ще одне зручне для реалізації на ЕОМ уявлення коефіцієнта передачі $K^{(1)}$

$$K^{(1)}(n, n+1) = \sum(n, n+1+1) A_{n, n+1+1}, \quad (14)$$

та коефіцієнта $K^{(2)}$

$$K^{(2)}(n, n+1+1) = \sum(n+1, n+1+1) A_{n+1}. \quad (15)$$

Далі перемножуючи по блокам матрицю $A^T(n, n+1+1)$ і вектор $z(n, n+1+1)$, знаходимо, що

$$A^T(n+1, n+1+1) z(n+1, n+1+1) = A(n, n+1+1) z(n, n+1+1) - A_{n-1} z_{n+1}. \quad (16)$$

Висновки

У рамках даної статті був розроблений алгоритм обробки інформації про процеси нестабільності задаючих генераторів БРТС який дозволяє значно спростити оцінювання параметрів досліджуваних моделей. При цьому за рахунок використання "ковзного вікна" при оцінці оброблюваних параметрів підвищується якість і оперативність ідентифікації НКВ КА.

Однак у реальних комплексах ідентифікації КА необхідно враховувати вплив шумовий перешкоди на функціонування РТС [6]. Тому представляється доцільним провести аналіз впливу шуму на вимірювання сигналів НКВ РТС, а так само досліджувати особливості спільного оцінювання швидкозмінних і повільно мінливих процесів вимірювання фази ЗГ БРТС.

Список літератури

1. Погорелов А.И., Купченко Л.Ф. *Общие вопросы построения сигналов измерительных радиосистем // Пространственно-временная обработка сигналов.* – Харьков: ХАИ, 1986. – С.3–11.
2. Смоляк С.А., Титаренко Б.П. *Устойчивые методы оценивания.* – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
3. Тёрнер Д. *Вероятность, статистика и исследование операций: пер. с англ.* – М.: Статистика, 1970. – 432 с.
4. Тихонов В.И. *Нелинейные преобразования случайных процессов / В.И. Тихонов.* – М.: Радио и связь, 1986. – 296 с.
5. Тихонов В.И., Харисов В.Н. *Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем.* – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
6. Явтушенко А.М. *Наземный радиотехнический комплекс управления та ідентифікації космічних апаратів: Навчальний посібник/ А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, В.І. Богомья.* – К.: НАОУ, 2004. – 40 с.

Надійшла до редколегії 23.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

А.В. Шульга, А.В. Шефер

Проведен анализ функционирования системы идентификации наземных подвижных объектов (ПО) и космических аппаратов (КА), которое зависит от возможности приема радиосигналов неконтролируемых излучений (НКИ) КА и алгоритмов обработки этих сигналов. Прием сигналов малой мощности (порядка 10^{-8} Вт), которыми являются сигналы НКИ, зависит от технических характеристик используемых радиотехнических станций (РТС) и особой сложности при определенных условиях не представляют. Определено, что вопрос обработки таких сигналов, например повышение достоверности и оперативности этой обработки, в достаточной мере не изучены. Это обусловлено тем, что процессы нестабильности задающих генераторов бортовых радиотехнических станций (ЗГ БРТС), служащих для идентификации КА, определяют необходимость выбора оптимального алгоритма обработки информации об этих процессах с оценкой параметров выбранной модели на фоне аддитивного шума измерений.

Ключевые слова: идентификация, компонент процесса идентификации, аддитивный шум измерений, дискретные алгоритмы, фазовая обработка сигналов, авторегрессионная модель, космический аппарат.

SYNTHESIS OF OPTIMAL ALGORITHMS UNCONTROLLED RADIATION SIGNAL PROCESSING FOR OBJECTS IDENTIFICATION

O.V. Shulga, O.V. Shefer

The analysis of the functioning of the identification of land mobile systems (software) and spacecraft (SC), which depends on the possibility of receiving radio signals of uncontrolled emissions (UKE) spacecraft and the processing of these signals algorithms. Receiving signals of low power (about 10^{-8} Watts), the signals which are UKE, depending on the specifications used radio stations (RS) and are not particularly difficult under certain conditions. It was determined that the question of processing signals, for example to increase reliability and efficiency of the treatment is not sufficiently studied. This is due to the fact that the processes of instability oscillators onboard radio stations (IG OBRS), which serve to identify the satellites, determine the necessity of choosing the optimal algorithm of information processing of these processes with the evaluation parameters of the selected model in Additive noise measurements.

Keywords: identification, component identification process, additive noise measurements, discrete algorithms, the phase signal processing, autoregressive model, the spacecraft.

Питання управління в складних системах

УДК 681.515: 519.7

І.Г. Гуліна, А.А. Мартиненко, О.О. Гулін

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпро

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ СТАНОМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Виконано аналіз принципів побудови систем автоматичного керування тепловим станом доменної печі, виходячи з особливостей доменного процесу як об'єкта керування. Розглянуто методи робастного, адаптивного, оптимального, синергетичного та нейромережевого керування. Обґрунтовано, що підвищення якості керування досягається шляхом створення безошукової системи непрямого адаптивного керування з ідентифікацією за допомогою навчання нейромережевих прогнозуючих моделей.

Ключові слова: система керування, оптимальний регулятор, адаптація, ідентифікація, нейронна мережа, тепловий стан, доменна піч.

Вступ

Доменне виробництво займає значну частину в структурі споживання ресурсів металургійними підприємствами, тому актуальним є проведення досліджень з метою зниження витрат на виробництво чавуну шляхом підвищення якості систем автоматичного керування (САК) ним.

З позицій керування доменний процес (ДПР) є складним об'єктом керування (ОК), що має нелінійні залежності, нестационарні параметри, залежні (багатозв'язкові) змінні, високий рівень перешкод, а також значну інерційність і час запізнювання [1].

Найбільш актуальним є вдосконалення САК тепловим станом (ТС) доменної печі (ДП), оскільки ця система створює умови, при яких спостерігається раціональне співвідношення процесів прямого і непрямого відновлення заліза, що дозволяє досягти економічності ДПР.

Постановка задачі. Використання математичних моделей не тільки на стадії проектування, але і в процесі функціонування систем, дозволяє реалізувати керування складними технологічними процесами, оскільки проблема реалізації адаптивних регуляторів такими ОК визначається принципом внутрішньої моделі [2].

Необхідність переходу до синтезу управління в процесі функціонування систем обумовлена відсутністю інформації, достатньої для прийняття рішень у всіх ситуаціях, які виникають при експлуатації ДП. Крім того, мають місце обмеження не тільки по відношенню до апріорної і поточної інформації, але і по відношенню до статистичних характеристик різних шумів, збурень і параметрів. Експеримента-

льне ж визначення багатомірних законів розподілу ймовірностей потребують абсолютно неприпустимих витрат.

Нехай динаміка ОК описується нелінійним рівнянням:

$$x[k+1] = F\{x[k], u[k], w[k], \xi[k], a[k], k\},$$

де F – узагальнена функція (алгоритм) перетворення; $x[k]$, $u[k]$, $w[k]$, $\xi[k]$, $a[k]$ – вектори (матриці) стану процесу, його управління, обурення, шумів і параметрів до поточного часу k .

Керуючі впливи формуються на основі спостережень змінних, які описують ОК, а стратегія керування базується на апріорній інформації про характеристики ОК і на передісторії зміни вхідних і вихідних змінних.

Мета статті. Обґрунтування принципів побудови систем і методів синтезу, що забезпечують підвищення якості керування ТС ДП.

Обґрунтування принципів керування

Коли властивості ОК недостатньо відомі, то застосовуються методи синтезу робастних регуляторів [2], які забезпечують малу зміну виходу замкнутої САК при малій зміні параметрів ОК.

Однак, в процесі функціонування робастної системи для керування не використовується інформація про невизначеності в системі. Це призводить до того, що такі системи консервативні, а їх недоліками є велика тривалість перехідних процесів і великі допустимі значення вихідної координати при дії перешкод.

Подібно робастній, адаптивна САК також будується для ОК, інформація про які або про впливи

на які недостатньо відомі. При цьому властивість адаптації досягається за допомогою формування в явному або неявному вигляді математичної моделі об'єкта або вхідного впливу.

Завдання синтезу адаптивної САК формулюється як задача пошуку керуючого вектору $u[k]$ у вигляді функції координат стану $x[k]$, збурень і перешкод, який забезпечує асимптотичний перехід ОК з довільного початкового стану в бажане кінцеве із заданими динамічними характеристиками руху. При цьому параметри $a[k]$ можуть невизначеним чином змінюватися в деякому обмеженому діапазоні [2, 3].

Таким чином, основна особливість адаптивних систем керування - можливість отримання інформації в процесі функціонування і використання її для керування. За рахунок цього адаптивне керування забезпечує більш високу якість керування при наявності перешкод.

Головним завданням при створенні САК є синтез автоматичних регуляторів, які могли б гарантувати асимптотичну стійкість замкнутих систем і задовольнити певній сукупності вимог до властивостей САК.

Це завдання синтезу регулятора, найкращого в певному сенсі, яке вирішується за допомогою теорії аналітичного конструювання оптимальних регуляторів (АКОР) Лєтова-Калмана [2].

Синтез оптимальних регуляторів базується на концепції Ляпунова обуреного руху і визначається як природою ОК, так і видом критерію оптимальності.

Структура адаптивної оптимальної (АО) САК (рис. 1) визначається принципом поділу (теореомою стохастичної апроксимації) [3], згідно з яким така система складається з підсистеми оцінювання та ідентифікації, а також підсистеми оптимального керування, побудованої для умов точного вимірювання вектору стану і вектору параметрів, але використовує оцінки цих величин (вихідні сигнали підсистеми оцінювання та ідентифікації).

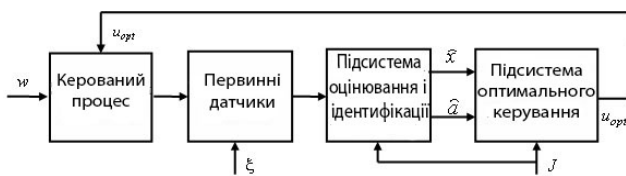


Рис. 1. Загальна структура АО САК

Керований процес в умовах збурень w спостерігається за допомогою первинних датчиків з помилками вимірювань ξ . Вектор сигналів спостереження надходить в підсистему оцінювання та ідентифікації, на виході якої формується оцінка вектору стану x і оцінка вектору параметрів \hat{a} математичної моделі керованого процесу. Підсистема оптимального керування на основі моделі керованого процесу,

поточної оцінки вектору стану і критерію оптимізації J формує оптимальне керування u_{opt} , яке впливає на процес керування.

При класичній реалізації такі дуальні системи являють собою поєднання фільтра Калмана-Бьюсі та оптимального регулятора.

Однак, в теорії АКОР що безпосередньо не розглядає загальноприйняті в інженерній практиці прямі показники якості синтезованих систем, а невирішена задача проектування регуляторів за заданими показниками якості була замінена іншим, побічно з ним пов'язаним [4].

Синтез оптимального керування по АКОР зводиться до вирішення рівняння Беллмана (Гамільтона-Якобі-Беллмана [2]), що для багатовимірних нелінійних ОК зустрічає нерозв'язні труднощі, пов'язані з дуже високою розмірністю при чисельному рішенні таких рівнянь (аналітичні методи рішень таких рівнянь не розроблені).

Розвитком теорії АКОР є принцип мінімуму узагальної роботи, розроблений академіком А.А. Красовським, згідно з яким оптимізація керування здійснюється за функціоналом узагальної роботи (ФУР) [2].

Перевага методу АКОР по ФУР полягає в тому, що його функціональне рівняння, на відміну від АКОР Лєтова-Калмана, являє собою лінійне диференціальне рівняння в окремих похідних, яке має більш прості рішення.

САК, що реалізують даний метод отримали назву універсальних - в них використовуються адаптивні оптимальні алгоритми, засновані на автоматичній ідентифікації за допомогою адаптивної прогнозувальної моделі [3].

Разом з тим, недоліком цього методу є те, що синтез управління для багатозв'язних ОК є дуже громіздким.

Для таких ОК більш ефективним вважається синергетичний підхід, який дозволяє синтезувати єдину САК з ієрархічним структуруванням локальних систем (підсистем) [4].

Для застосування синергетичного підходу в САК зовнішні впливи подають у вигляді інформаційних моделей, які об'єднують (агрегують) в структуру розширеної системи. Тоді проблема керування формується як задача пошуку законів взаємодії в розширеній системі, де виникають процеси самоорганізації, тобто виникає кінцеве число аттракторів (принцип розширення-стиснення фазового простору [4]).

Такий метод синтезу керування отримав назву аналітичного конструювання агрегованих регуляторів (АКАР) [4]. Він забезпечує асимптотичну стійкість системи без пошуку рішень нелінійних динамічних рівнянь ОК. При цьому функціонал, що оптимізується є оцінкою якості перехідних процесів.

При використанні методу АКАР нелінійна динаміка ОК в просторі станів апроксимується лінійною динамікою в просторі макрозмінних (аттрактора, бажаного режиму роботи). А завдання підбору макрозмінної зводиться до задачі синтезу стійкої однорідної системи диференціальних рівнянь.

У методі АКАР синтез наступного рівня (нижнього, підлеглого) здійснюють з урахуванням вже синтезованої за своїм критерієм підсистеми попереднього (верхнього) рівня.

Недоліками методів АКАР і АКОР є вимога точного знання ОК, що вимагає дуже великих витрат на експериментальні дослідження по визначенню функцій розподілу, апріорних і апостеріорних ймовірностей змінних ДПП.

Крім того, ці методи відносно складні в реалізації, орієнтовані на використання на етапі проектування САК і при наявності значних запізнь в ОК виникають проблеми стійкості замкнутих систем.

«Класичні» САК побудовані на аналітичному описі ОК в просторі ознак. На практиці ж типовими є погано формалізовані ОК з маловідомими або змінними властивостями, для яких цей підхід не ефективний.

«Некласичний» підхід в теорії керування використовує штучні чіткі і нечіткі нейронні мережі (НМ), що дозволяє керувати нелінійними ОК шляхом створення адаптивних САК з нейрорегулятором (НР), що навчається [5].

До переваг використання НР відносяться їх високу ефективність для керування нелінійними нестационарними ОК в промисловості, де накопичені великі бази даних, а також для керування багатовимірними і багатозв'язними ОК з обуренням середовищем функціонування. При цьому НР мають універсальні апроксимуючі властивості та здатність до навчання [6]. Використання НМ дозволяє вирішувати задачу керування нелінійними ОК шляхом створення адаптивної САК з НР, що навчається, і еталонною моделлю (рис. 2) [7].



Рис. 2. Нейромережна система керування з еталонною моделлю

Необхідною умовою функціонування САК з еталонною моделлю є правильний вибір навчальних вхідних впливів $q[k]$, оскільки від їх типу залежить точність налаштування основного контуру системи на еталонну модель.

Таким чином, головні проблеми (і недоліки) при створенні систем з НР - це обґрунтування змісту і обсягу інформації для навчання, а також вибір структури регулятора і умов існування стійких рішень для класу нелінійних ОК і необхідних цілей керування.

Адаптивні САК засновані на поєднанні оцінювання стану (спостереження) і параметрів моделі (ідентифікації) ОК з синтезом керування на основі прогнозуючих моделей, які відтворюють вільний рух ОК. На відміну від систем дуального керування, в адаптивних САК виконання цих процедур та організація їх взаємодії є не формалізованими і допускає використання безлічі методів реалізації. При організації процесу адаптації використовуються методи [3]:

- пошукові, що здійснюють ітеративний рух до досягнення необхідної якості керування;
- безпошукові, які використовують достатні умови необхідної якості керування (точність).

Наявність пробних рухів є основним недоліком пошукової адаптації, оскільки вони не завжди допустимі за умовами функціонування ДП.

У безпошукових системах ідентифікація з адаптивною моделлю виходить за рахунок виміру вхідних і вихідних впливів.

Безпошукові адаптивні системи (БАС) будуються за схемою прямого або непрямого адаптивного керування. У разі прямого керування вимірюються показники моделі і системи (тимчасові, частотні), та на підставі їх неузгодженості перебудовуються коефіцієнти регулятора для зниження до допустимій величині [2]. Їхнім недоліком є вимога до визначення і обґрунтування еталонних характеристик ОК, прямо не пов'язаних з ефективністю САК.

У системах непрямого адаптивного керування попередньо проводиться ідентифікація ОК, на основі чого обчислюються коефіцієнти регулятора.

У БАС з еталонною моделлю за помилку контурів самоналаштування приймається помилка між рухом ОК і виходом моделі $e[k]$.

Моделю може налаштовуватися під динамічні характеристики ОК або всього основного контуру, а отримані параметри моделі далі використовуються для перебудови регулятора основного контуру. Це БАС з ідентифікацією за допомогою моделі що налаштовується (рис. 3).

У БАС з власне еталонною моделлю (в якій налаштовуються параметри основного контуру під параметри еталонної моделі) є значні недоліки, що зумовлені не тільки вимогам апріорної розробки еталонної моделі, а й труднощами забезпечення стійкості замкнутого основного контуру (рис. 2).

У БАС з ідентифікацією за допомогою моделі, що налаштовується, основний контур розімкнений (рис. 3), що обумовлює асимптотичну стійкість цієї САК.

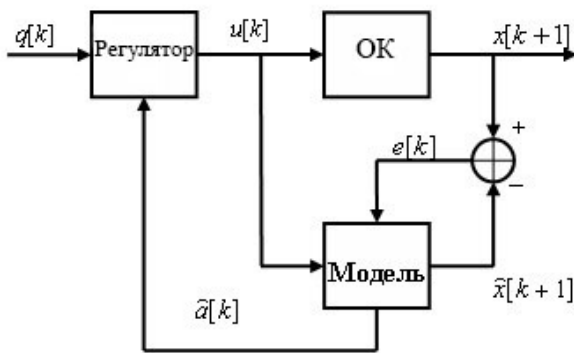


Рис. 3. Структура системи непрямого адаптивного керування з моделлю що налаштовується

В БАС з ідентифікацією в якості моделі доцільно використовувати НМ, які, як зазначалось вище, є універсальними і ефективними апроксиматорами і здатні до навчання (налаштування). При цьому, в якості регулятора цієї БАС можуть використовуватися як самоналагоджувальний, так і стандартні (ПІ, ПІД і ін.) регулятори.

Існування і єдиність вектору налаштувань регуляторів стосовно довільно допустимому вектору параметрів ОК відповідає властивості адаптованості основного контуру.

Повна адаптованість основного контуру забезпечує абсолютну параметричну інваріантність і служить структурною характеристикою адаптивного регулятора, що виражає граничні можливості компенсації впливу параметричних збурень на динамічні характеристики основного контуру [2].

З огляду на те, що кожен фізичний об'єкт з нелінійною динамікою по-своєму унікальний, то і рішення задачі адаптивного керування також є унікальним і обмежено класом доступних моделей ОК.

Висновки

Від якості керування, що забезпечується адаптивними локальними САК, залежить досягнення

всієї ефективності роботи ДП. Тому адаптивні САК повинні будуватися як оптимальні в сенсі якості керування, що виражається в точності відтворення впливів, що задаються.

Підвищення якості керування ТС ДП досягається шляхом створення безпошукових систем непрямого адаптивного керування з ідентифікацією ОК за рахунок навчання нейромережових прогножуючих моделей.

Подальші дослідження повинні бути направлені на розробку нейромережових моделей ТС ДП.

Список літератури

1. Каганов В.Ю. Автоматизация управления металлургическими процессами / В.Ю. Каганов, О.М. Блинов, А.М. Бельский. – М.: Металлургия, 1974. – 416 с.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
3. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом / В.Н. Буков. – М.: Наука, 1987. – 232 с.
4. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. – Ч. II. – 559 с.
5. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления. Кн. 8. Учебное пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. Общ. редакция А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.
6. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Солон, 1996. – 348 с.
7. Махотило К.В. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач управления [Электронный ресурс] / К.В. Махотило – 11 с. – Режим доступа до ресурсу : <http://www.users.kpi.kharkov.ua/mahotilo>.

Надійшла до редколегії 25.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.О. Алексеев, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпро.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ СОСТОЯНИЕМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

И.Г. Гулина, А.А. Мартыненко, А.А. Гулин

Выполнен анализ принципов построения систем автоматического управления тепловым состоянием доменной печи, исходя из особенностей доменного процесса как объекта управления. Рассмотрены методы робастного, адаптивного, оптимального, синергетического и нейросетевого управления. Обосновано, что повышение качества управления достигается путем создания беспоишковой системы непрямого адаптивного управления с идентификацией посредством обучения нейросетевых прогнозирующих моделей.

Ключевые слова: система управления, оптимальный регулятор, адаптация, идентификация, нейронная сеть, тепловое состояние, доменная печь.

CONSTRUCTION PRINCIPLES OF CONTROL SYSTEMS FOR THERMAL STATE OF BLAST FURNACE

I.G. Gulina, A.A. Martynenko, A.A. Gulina

It is carried out the analysis of construction principles of automatic control systems for thermal state of blast-furnace on the basis of the features of the blast-furnace process as the control object. It were examined the methods of robust, adaptive, optimal, synergetic and neuronet control. It is grounded that the upgrading of control is achieved by making of searchless system of indirect adaptive control with identification by means of neuronet predicting models learning.

Keywords: control system, optimal control, adaptation, identification, neuronet, thermal state, blast furnace.

УДК 681.5

Р.В. Захарченко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

РОЗВ'ЯЗАНЕ КЕРУВАННЯ БАГАТОВИМІРНИМИ СИСТЕМАМИ

У статті розглянуто можливість застосування розв'язаного керування багатовимірними системами за допомогою залежних і незалежних розв'язуючих мереж.

Ключові слова: багатовимірні системи, розв'язуючі мережі, матриця передавальних функцій, система управління.

Вступ

В теорії автоматичного управління процеси, що мають тільки один керований вхід і один вихід класифікуються як системи з одним входом і одним виходом (SISO, single-input single-output). Однак більшість реальних процесів не відповідають такій простій моделі управління.

Системи з більше ніж одним контуром управління відомі як системи з кількома входами і кількома виходами (MIMO, multi-input multi-output) або багатовимірні системи.

В загальному випадку кожен вхід системи впливає на кожен її вихід. Тому, для того, щоб кілька контурів управління успішно функціонували, кожен контур повинен мати інформацію про роботу інших. У іншому випадку, при спробі досягнення своїх відповідних цілей, контури можуть протидіяти один одному. Це явище відоме як перехресні зв'язки.

Нехтування перехресними зв'язками при розробці системи управління, може призвести до нестабільності системи.

Розглянемо відносно простий підхід до компенсації перехресних зв'язків: створення багатовимірних підходів управління за допомогою розв'язуючих мереж, спрямованих на усунення взаємодії між контурами управління.

Підходи до вирішення проблеми

Популярним підходом до вирішення проблеми зв'язності контурів управління є створення незв'язних або розв'язаних схем управління. Завданням при цьому є повне усунення ефекту зв'язності контурів. Це досягається за допомогою визначення компенсаційних мереж, відомих як розв'язувальні системи (рис. 1).

По суті, роль розв'язувальних систем полягає в розкладанні багатовимірного процесу в серію незалежних одно контурних підсистем. Якщо така ситуація може бути досягнута, то отримується повна або ідеальна розв'язка і багатовимірний процес може бути керований за допомогою незалежних контурів управління.



Рис. 1. Загальна структура розв'язаної системи управління

Як і у випадку представлення входів-виходів багатовимірних процесів, представлення розв'язуючих пристроїв може мати різні структури, наприклад, R- або V-представлення. Однак R-представлення є більш поширеним.

Розв'язуюча мережа Боксенбома і Гуда

Структура розв'язуючої мережі Боксенбома і Гуда [2] приведена на рис. 2.

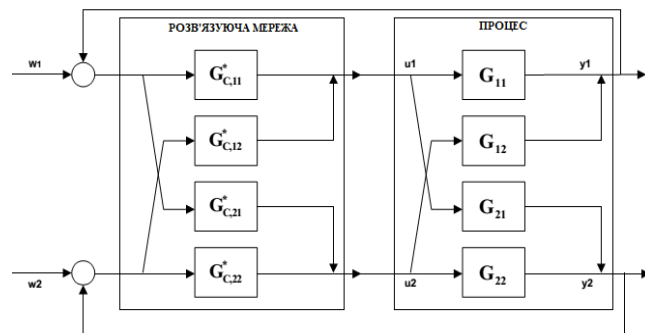


Рис. 2. Розв'язуюча система управління Боксенбома і Гуда

Нехай G_c^* є матрицею елементів розв'язки, а G – матрицею передавальних функцій процесу:

$$G_c^* = \begin{bmatrix} G_{c11}^* & G_{c12}^* \\ G_{c21}^* & G_{c22}^* \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

а $Y = [y_1, y_2]^T$ і $U = [u_1, u_2]^T$ – вектори виходу і керованого входу відповідно.

Вводячи вектор заданих значень або опорних сигналів $W = [w_1, w_2]^T$ отримуємо таке рівняння:

$$Y = GG_c^* (W - Y). \quad (3)$$

Виражаючи Y отримуємо вираз для замкнутого контура:

$$Y = [I + GG_c^*]^{-1} GG_c^* W. \quad (4)$$

Для того, щоб окремі контури замкненої системи були незалежними один від одного, необхідно, щоб виконувалася умова:

$$X = [I + GG_c^*]^{-1} GG_c^* = \text{diag}[x_1, x_2], \quad (5)$$

тобто X повинна бути діагональною матрицею. Так як сумою і добутком двох діагональних матриць є діагональна матриця, і зворотна до діагональної матриці також є діагональною матрицею, то вимога може бути забезпечено, якщо GG_c^* є діагональною матрицею, тобто

$$GG_c^* = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_{c11}^* & G_{c12}^* \\ G_{c21}^* & G_{c22}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

або

$$\begin{bmatrix} G_{11}G_{c11}^* + G_{12}G_{c21}^* & G_{11}G_{c12}^* + G_{12}G_{c22}^* \\ G_{21}G_{c11}^* + G_{22}G_{c21}^* & G_{21}G_{c12}^* + G_{22}G_{c22}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Прирівнюючи відповідні елементи матриць отримуємо систему з чотирьох рівнянь:

$$q_1 = G_{11}G_{c11}^* + G_{12}G_{c21}^*, \quad (8)$$

$$0 = G_{11}G_{c12}^* + G_{12}G_{c22}^*, \quad (9)$$

$$0 = G_{21}G_{c11}^* + G_{22}G_{c21}^*, \quad (10)$$

$$q_2 = G_{21}G_{c12}^* + G_{22}G_{c22}^*. \quad (11)$$

Розв'язуючи систему рівнянь отримуємо:

$$G_{c12}^* = \frac{-G_{12}G_{c22}^*}{G_{11}}, \quad (12)$$

$$G_{c21}^* = \frac{-G_{21}G_{c11}^*}{G_{22}}. \quad (13)$$

Якщо у якості прямих розв'язуючих елементів G_{c11}^* і G_{c22}^* , взяти, наприклад, ПІ-регулятори, то знаючи передавальні функції процесу розв'язуюча мережа може бути повністю визначена. Ця методика синтезу потребує знання матриці передавальних функцій процесу G і підкреслює корисність представлення процесу в P -канонічній формі, оскільки її передавальні функції можуть бути отримані експериментально.

Однак, при наявності збурень у системі, ця методика розв'язку потребує іншого підходу. Якщо прямі елементи компенсації G_{c11}^* і G_{c22}^* підстроюються автоматично під час роботи, то недіагональні елементи мають також бути перераховані. Хоча це не є серйозною проблемою при реалізації розв'язуючої системи за допомогою мікропроцесорів. Взає-

мозалежність елементів розв'язки стає важливим недоліком, коли один з контурів керується вручну. Тоді ефект розв'язування буде втрачений.

Метод Залкінда і Любена.

Приведене вище підкреслює необхідність незалежності мережі розв'язки від регуляторів контурів. Одним з таких методів є метод Залкінда і Любена (рис. 3) [4].

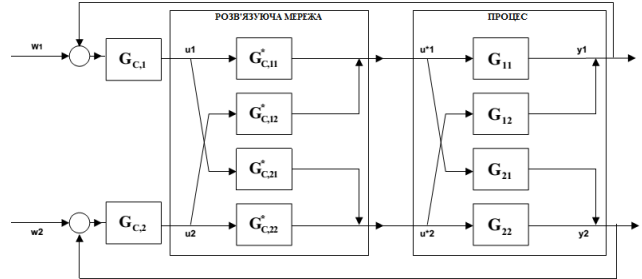


Рис. 3. Незалежна розв'язуюча система управління Залкінда і Любена

Тут, окрім розв'язуючої мережі присутні два додаткові блоки, які є регуляторами прямих каналів. На відміну від попередньої методики, розв'язуючі пристрої формують вторинні блоки посткомпенсації і дозволяють більшу гнучкість у реалізації та введенні в експлуатацію невзаємодіючої схеми управління. Позначимо матрицю управління прямих каналів як G_c з виходом u , а вихід розв'язуючої мережі – як u^* . Система описується такими співвідношеннями:

$$Y = GG_c^* U = GG_c^* G_c (W - Y). \quad (14)$$

Метою розв'язування є штучне створення ситуації, коли регулятори прямих каналів "вважати-муть", що вони керують двома незалежними контурами. Оскільки G_c є діагональною матрицею, то мета буде досягнута при умові:

$$X = GG_c^* = \text{diag}[x_1, x_2]. \quad (15)$$

Звідси G_c^* дорівнює:

$$G_c^* = G^{-1} X = \begin{bmatrix} G_{22}x_1 & -G_{12}x_2 \\ -G_{21}x_1 & G_{11}x_2 \end{bmatrix} \frac{1}{\det(G)}. \quad (16)$$

Найпростішою формою цієї матриці є матриця з одиничною діагоналлю, а саме:

$$G_{c11}^* = G_{c22}^* = 1, \quad (17)$$

що призводить до таких недіагональних елементів:

$$G_{c12}^* = -\frac{G_{12}}{G_{11}}, \quad (18)$$

$$G_{c21}^* = -\frac{G_{21}}{G_{22}}. \quad (19)$$

Вище наведені рівняння показують, що при цій методиці елементи розв'язування не залежать від регуляторів прямих каналів. Переналаштування регуляторів не вимагає переналаштування елементів розв'язування, більш того, регулятори можуть бути змінені, скажімо, з ПІ на ПІД або взагалі на ручне керування

без втрати розв'язування системи. Відзначимо також, що розв'язування відбувається між сигналами управління прямими каналами і виходами процесу, а не між сигналами завдання і виходами процесу. Однак, як і в попередньому методі, матриця передавальних функцій процесу має бути відомою.

Зауваження по реалізації

Теорія розв'язування базується на припущенні про лінійність процесів і можливості досягнення точного скорочення динаміки чисельника і знаменника. Це виключає застосування до систем з немінімальнофазовою поведінкою, тобто систем з нестійкими нулями. Оскільки процедура скорочення переводить нулі в полюси, що може призвести до нестійких елементів розв'язування. Аналогічна проблема виникає при використанні помилкової моделі процесу. Скорочення буде неповним і може призвести до нестійких полюсів замкненої системи. Навіть якщо доступна точна модель процесу, динаміка високого порядку може зробити реалізацію занадто складною.

Більш специфічна проблема реалізації відноситься до часових затримок, пов'язаних із елементами матриці передавальних функцій процесу [6]. Нехай:

$$G_{12} = \frac{K_{12}e^{-\theta_{12}}}{1 + \tau_{12}s}, \quad (20)$$

$$G_{11} = \frac{K_{11}e^{-\theta_{11}}}{1 + \tau_{11}s}, \quad (21)$$

де θ_{ij} і τ_{ij} позначають час запізнення та сталу часу відповідно, тоді

$$G_{c12}^* = -\frac{G_{12}}{G_{11}} = -\frac{K_{12}(1 + \tau_{11}s)}{K_{11}(1 + \tau_{12}s)} e^{(\theta_{11} - \theta_{12})}. \quad (22)$$

Якщо $\theta_{11} > \theta_{12}$, то аргумент експоненти буде позитивним, що означає, що для реалізації необхідні майбутні значення змінних процесу.

Стосовно прикладу з часом затримки, перше наближення може дозволити знехтувати ефектами часу затримки під час розрахунку елементів розв'язування. Проблема динаміки високого порядку також може бути полегшена створенням розв'язувальної мережі, заснованої на редукованій моделі проце-

су меншого порядку. Часткове розв'язування може бути використане, якщо вплив одного з членів зв'язку вважається незначним. Більш різке спрощення ігнорує динаміку і повністю покладається на статичні розв'язувальні ланки. При цьому передавальні функції процесу G_{ij} апроксимуються коефіцієнтами підсилення K_{ij} . При цьому уникається проблема немінімальнофазової поведінки [3 – 5, 7].

Висновки

Застосування розв'язувальних мереж для забезпечення незв'язного багатовимірного управління дозволяє здійснювати керування складними реальними багатовимірними системами без врахування внутрішніх перехресних зв'язків. Хоча синтез розв'язувальних мереж пов'язаний з деякими складнощами, як показала практика, прийняття спрощень у моделі об'єкта керування дозволяє отримати гарні якісні характеристики перехідних процесів і обійти деякі проблеми, аналітичне вирішення яких є неможливе.

Список літератури

1. Tham M.T. *Multivariable control: an introduction to decoupling control. An Introduction to Decoupling Control*, MTT, July 1999.
2. Boksenbom, A.S. and Hood R. *General algebraic method applied to control analysis of complex engine types. Report NCA-TR-980, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, D.C, 1949.*
3. Fagervik, K.C., Waller, K.V.T. and Hammarstrom, L.G. *One way and two way decoupling in distillation. Proc. 31st Canadian Chemical Engineering Conference, Montreal, 1981.*
4. Luyben, W.L. *Distillation decoupling. AIChE Journal, 1970, Vol. 16.*
5. McAvoy, T.J. *Steady-state decoupling of distillation columns. Ind. Eng. Chem. Fundamentals, 1979, Vol.18, No.3.*
6. Niederlinski, A. *Two variable distillation control: decouple or not decouple. AIChE Journal, 1971, Vol. 17, No.5.*
7. Ким Д.П. *Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пос. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.*
8. Остапенко Ю.О. *Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування / Ю.О. Остапенко. – К: Задруга, 1999. – 420 с.*

Надійшла до редколегії 18.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

РАЗВЯЗАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ

Р.В. Захарченко

В статье рассмотрена возможность применения развязанного управления многомерными системами с помощью зависимых и независимых развязывающих сетей.

Ключевые слова: многомерные системы, развязывающие сети, матрица передаточных функций, система управления.

DECOUPLING CONTROL OF MULTIVARIABLE SYSTEMS

R.V. Zaharchenko

The article considers decoupled control of multivariable systems possibility by using dependent and independent decoupling networks.

Keywords: multivariable systems, decoupling network, transfer functions matrix, control system.

УДК 621.3. 314.572

Б.Т. Кононов, Н.М. Куравська

Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків

ВПЛИВ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА РОБОТУ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

З'ясовується вплив вищих гармонік на надійність частотно-регулюємого електроприводу, визначаються втрати потужності від вищих гармонік, приводяться співвідношення для обчислення струмів, додаткового нагрівання ізоляції та визначення терміну її служби.

Ключові слова: вищі гармоніки, частотно-регулюємий електропривід, асинхронний двигун.

Вступ

Дугостаторний асинхронний електричний двигун з короткозамкненим ротором, що працює в якості електроприводу системи обертання антени радіолокаційної станції, при його використанні з безпосереднім перетворювачем частоти на базі трифазного випрямляча і автономного інвертора з тиристорами забезпечує частотне регулювання кутової частоти обертання валу антени. Випрямляч перетворювача частоти частотно-регулюємого електропривода є джерелом вищих гармонік напруги, якою живиться електричний двигун, миттєве значення цієї напруги, зазвичай, представляється рядом Фур'є

$$u(t) = U_0 + \sum_{v=1}^n U_{vm} \sin(v\omega t + \psi_{v0}), \quad (1)$$

де U_0 – постійна складова; $U_{vm} \sin(v\omega t + \psi_{v0})$ – гармонічні складові v -го порядку з амплітудою U_{vm} і початковою фазою ψ_{v0} (вищі гармоніки); n – порядок (номер) останньої з враховуваних вищих гармонік.

Амплітуди та початкові фази вищих гармонік звичайно знаходяться через ортогональні проекції U_{va} та U_{vp}

$$U_v = \sqrt{U_{va}^2 + U_{vp}^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } U_{va} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \cos v\omega t \, d\omega t; \quad \psi_{v0} = \arctg \frac{U_{vp}}{U_{va}};$$

$$U_{vp} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \sin v\omega t \, d\omega t.$$

Під впливом вищих гармонік напруга, що подається на дугостаторний асинхронний двигун стає несинусоїдальною, що негативно впливає на роботу двигуна, збільшуються втрати, погіршуються енергетичні показники, а саме коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності, знижується надійність роботи приводу та зменшується термін його служби.

Аналіз літератури. Вплив вищих гармонік на роботу енергетичного обладнання енергетичних систем детально розглянутий в [1]. Основну увагу автор [1] приділяє з'ясуванню того, як несинусоїдальні режими діють на силове обладнання та на системи релейного захисту, автоматики, телемеханіки й зв'язку та які економічні втрати обумовлені проявою вищих гармонік. На жаль, значно меншу увагу в [1] приділено питанням, пов'язаним з вивченням впливу вищих гармонік на надійність електротехнічного обладнання.

Метою статті є з'ясування впливу вищих гармонік на надійність роботи електроприводу, що представляється більш актуальним, виходячи з того, що в військових системах електропостачання економічні чинники хоча й мають велике значення, але визначальними не являються.

Основний матеріал

При роботі дугостаторного асинхронного двигуна в умовах його живлення несинусоїдальною напругою мають місце додаткові втрати, обумовлені вищими гармоніками струму в обмотках статора та ротора.

Крім того, мають місце додаткові втрати від вищих гармонік в сталі статора й ротора, але ці втрати, у порівнянні з втратами у міді, незначні і ними, звичайно, нехтують.

Додаткові втрати потужності в дугостаторному асинхронному двигуні, обумовлені струмом v -ої гармоніки можна знайти з виразу.

$$\Delta P_{mv} = 3I_v^2 (R_{ctv} + R_{porv}^r), \quad (3)$$

де R_{ctv} та R_{porv}^r – активний опір статорної обмотки та приведений активний опір ротора на частоті v -ої гармоніки.

Зазвичай, при роботі асинхронного двигуна для визначення втрат потужності необхідно знайти відповідне значення струму v -ої гармоніки.

Виходячи з того, що для регулювання частоти живлячої напруги у дугостаторного асинхронного

двигуна в кожному напівперіоді змінюють кут управління тиристорами випрямляча α , що задається системою імпульсно-фазового управління, й змінюють кут комутації тиристорів інвертора γ , значення якого знаходять з виразу:

$$\gamma = \arccos(\cos \alpha - I_d^I x_k^I), \quad (4)$$

де I_d^I – відносне (по відношенню до номінального) значення випрямленого струму, x_k^I – відносне (по відношенню до потужності трансформатора перетворювача) значення індуктивного опору контуру комутації інвертора.

Номери вищих гармонік визначаються таким чином [2]:

$$\nu = kp \pm 1, \quad (5)$$

де p – кількість пульсацій випрямляча $k = 1, 2, 3 \dots$

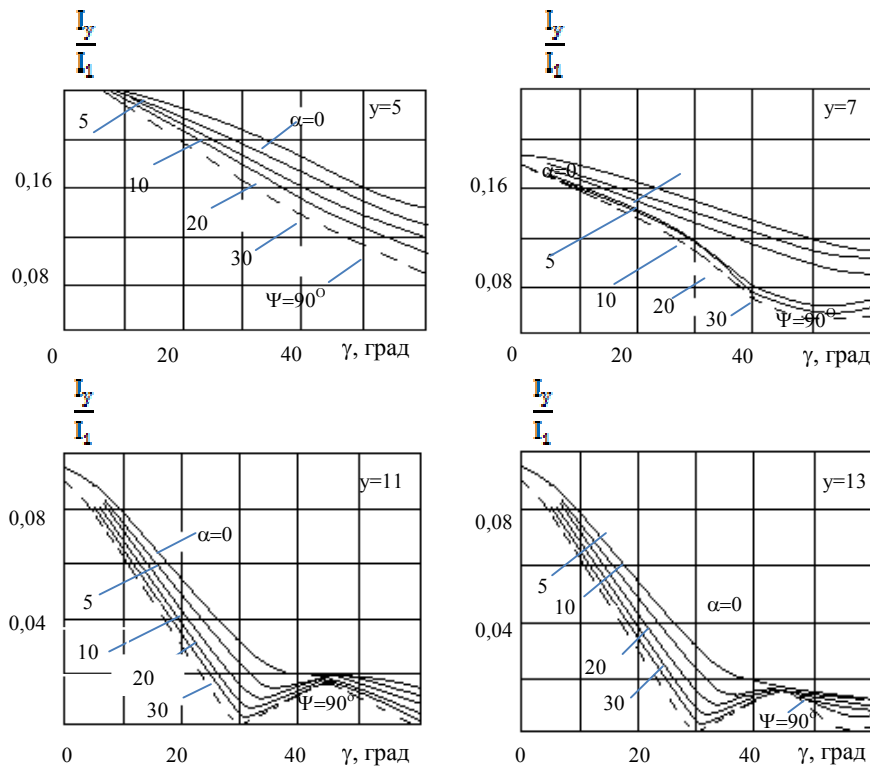


Рис. 1. Діючі значення струмів гармонік для різних значень кутів α та γ

Додаткові втрати потужності в дугостаторному асинхронному електричному двигуні прискорюють старіння ізоляції. Відносне скорочення терміну служби ізоляції Δt викликане дією несинусоїдальної напруги визначається з виразу:

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 1 - 2^{-\frac{\Delta \tau}{\theta}}; \quad (7)$$

$$\Delta t = t_c - t_{nc} \text{ та } \Delta \tau = \tau_c - \tau_{na},$$

де t_c, t_{nc} – тривалість справного стану ізоляції в тривалому режимі роботи при синусоїдальній і несинусоїдальній напрузі; τ_c, τ_{nc} – температура ізо-

Амплітудні значення активної I_{va} та реактивної I_{vp} складової основної гармоніки в [1] пропонують знаходити з виразів:

$$I_{va} = \left(2\sqrt{3}I_d/\pi\right) \cdot \cos(\gamma/2) \cos \varphi; \quad (6)$$

$$I_{vp} = \frac{\sqrt{3}I_d}{2\pi \sin(\gamma/2) \sin \varphi} (\gamma - \sin \gamma \cos 2\gamma);$$

$$\varphi = \alpha + \gamma/2,$$

де φ – кут зсуву між першою гармонікою напруги та першою гармонікою струму; I_d – струм на виході випрямляча.

Діючі значення струмів 5, 7, 11 та 13 гармонік для різних значень кутів α та γ пропонується обчислювати за допомогою розрахункових кривих, отриманих за даними, наведеними в [1], та показаними на рис. 1.

ляції в тривалому режимі роботи при синусоїдальній та несинусоїдальній напрузі; θ – температура сталі, що дорівнює прирощенню температури, при якій термін служби ізоляції скорочується вдвічі.

З (7) можливо отримати спрощений вираз для визначення відносного скорочення терміну служби ізоляції

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 0,69 \frac{\Delta \tau}{\theta}, \quad (8)$$

При $\theta = 8^\circ \text{C}$

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 0,086 \Delta \tau.$$

Значення температур τ_c та τ_{nc} можливо знайти з виразів

$$\begin{aligned}\tau_c &= a \cdot \Delta P_M; \\ \tau_{nc} &= a \cdot (\Delta P_M + \Delta P_{MV}),\end{aligned}\quad (9)$$

де ΔP_M – втрати потужності в міді, при синусоїдальній напрузі,

ΔP_ϕ – втрати потужності в міді обумовлені вищими гармоніками,

a – постійний коефіцієнт, враховуючий конструкцію двигуна.

При визначенні ΔP_{MV} можливо користуватися таким співвідношенням:

$$\Delta P_{MV} = \Delta P_M \cdot \sum_{v=2}^n I_v^2 / I_1^2 = \sum_{v=2}^n k_{Iv}^2 \cdot \Delta P_M, \quad (10)$$

де I_1, I_v – струми першої та v -ої гармонік.

По даним, наведеним в [3], підвищення температури нагрівання ізоляції електричних машин від 105°C до 120 °C скорочує термін служби ізоляції вдвічі з 20 років до 10 років, а підвищення температури до 140°C скорочує термін служби ізоляції в 10 разів. При коефіцієнті несинусоїдальності $K_{nc} = 5\%$ додаткове перегрівання обмоток асинхронного двигуна може становити 8 °C, що при тривалій роботі скоротиться вдвічі термін служби ізоляції.

Відносна величина дійсного значення вищих гармонік струму K_{nc1} , які створюються 6-ти імпульсним випрямлячем

$$K_{nc1} = \sqrt{\frac{1}{5^2} + \frac{1}{7^2} + \frac{1}{11^2} + \frac{1}{13^2} + \dots} \approx 0,312.$$

Таким чином, додаткові втрати потужності, обумовлені дією несинусоїдальної напруги можуть бути достатньо суттєвими, що вимагає використання, фільтрокомпенсаційних пристроїв на вході інвертора для зменшення впливу вищих гармонік та роботи електропривода.

Висновки

1. Роботи частотно-регулюємого електропривода на базі дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, отримуючого живлячу напругу від перетворювача частоти у складі трифазного випрямляч і інвертора, супроводжується появою вищих гармонік, що викликають додаткові витрати потужності, перегрівання обмоток двигуна й скорочення терміну служби ізоляції обмоток.

2. Для уникнення явища передчасного старіння ізоляції обмоток дугостаторного електричного двигуна у склад безпосереднього перетворювача частоти необхідно ввести фільтрокомпенсаційний пристрій, який повинен бути включений на вхід інвертора (вихід випрямляча) і який повинен забезпечувати зменшення коефіцієнта несинусоїдальності живлячої напруги до значень, які нормуються стандартами з якості електричної енергії.

Список літератури

1. Жежеленко Н.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий* / Н.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 329 с.
2. Руденко А.С. Сенько В.И., Чаженко И.М. *Основы преобразовательной техники*. – М.: Высшая школа, 1980. – 423 с.
3. Петров Г.Н. *Электрические машины. Часть 1* / Г.Н. Петров. – М.: Энергия, 1974/ – 240 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАБОТУ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Б.Т. Кононов, Н.М. Куравская

В статье выясняется влияние высших гармоник на надежность частотно-регулируемого электропривода, определяются потери мощности от высших гармоник, приводятся соотношения для вычисления токов, дополнительного нагрева изоляции и определения срока ее службы.

Ключевые слова: высшие гармоники, частотно-регулируемый электропривод, асинхронный двигатель.

PROTECTION OF FREQUENCY-REGULATIONS ELECTRIC ACTUATOR BASED ON INDUCTION ENGINE WITH THE SQUIRREL-CAGE ROTOR

B.T. Kononov, N.M. Kuravska

In the article the system of defense of power channel electro mechanic is examined on the base of asynchronous engine with the squirrel-cage rotor.

Keywords: harmonics, frequency Adjustable electric, asynchronous motor.

УДК 004.7

Г.А. Кучук¹, А.А. Коваленко²¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ДТЗ-ТРАФІКА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті проведено аналіз трафіка із довготривалими залежностями (ДТЗ-трафіка). Для його аналізу пропонується використовувати математичний апарат, котрий описує узагальнений броунівський рух. Доведено, що в комп'ютерних системах критичного призначення контроль та управління параметрами ДТЗ-трафіка необхідно здійснювати автоматично. Для цього авторами запропоновано математичну модель процесу, котра дозволяє провести оцінку відхилення ДТЗ-трафіка від стаціонарного режиму.

Ключові слова: стаціонарний режим, фрактальний трафік, параметри ДТЗ-трафіка.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку інфокомунікацій [1 – 6] вимагають зміни підходу до розподілу мережевого навантаження в нових умовах функціонування, враховуючи особливості багатоканальної комутації і трафіка із довготривалими залежностями (ДТЗ-трафіка). Існуючі методики і алгоритми розподілу навантаження [7 – 9, 11] в інформаційно-телекомунікаційній мережі не враховують деякі особливості ДТЗ-трафіка, наприклад, його характеру або гетерогенності мережі [11]. Основне завдання при цьому – якнайшвидше виявити момент зміни параметрів трафіка, тобто момент його відхилення від стаціонарного режиму. Тому пропонується визначення цього моменту автоматично, на використанні відліків трафіка.

Безперервно зростаюча складність і підвищені вимоги до якості функціонування комп'ютерних систем критичного призначення сприяли застосуванню методів фрактального аналізу, що ґрунтуються на використанні властивостей масштабної інваріантності мережевих процесів, зокрема, процесу проходження ДТЗ-трафіка (самоподібність других статистичних моментів, котрі характеризують кореляційні зв'язки між подіями) [8, 11].

Одним із завдань, що виникають при управлінні ДТЗ-трафіком, є визначення характеру відхилення трафіка від стаціонарного режиму, оскільки неврахування тяжких хвостів використовуваних розподілів приводить до істотних розбіжностей значень параметрів процесу.

Для його аналізу пропонується використовувати математичний апарат, котрий описує узагальнений броунівський рух [8, 11].

Метою статті є розробка математичної моделі ДТЗ-трафіка комп'ютерних систем критичного призначення, котра дозволить автоматизувати процес контролю та управління параметрами такого трафіка.

1. Математична модель узагальненого броунівського руху

Класичний броунівський рух описується стохастичним вінерівським процесом $\{B(t)\}$ з такими властивостями [8]:

$$1) B(0) = 0;$$

2) прирости процесу нормально розподілені, тобто:

$$(\Delta B(t + t_0); t) \in N(0, \sigma_{\Delta B} t);$$

$$(\Delta B(t + t_0); t) = B(t + t_0) - B(t_0);$$

3) прирости процесу, що розглядаються на часових інтервалах, що не мають перетинів, незалежні;

$$4) M[|\Delta B(t_2; t_1)|] = A(|t_2 - t_1|)^\alpha + o(|t_2 - t_1|),$$

де A – константа, $\alpha = 1/2$;

5) функція розподілу для приростів $B(t)$:

$$F(x, t) = P(\Delta B(t + t_0; t) < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Delta B}^2 \cdot t}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{y^2}{\sigma_{\Delta B}^2 \cdot t}\right) dy,$$

а щільність розподілу ймовірності за проміжок часу Δt з коефіцієнтом розкиду k_d має такий вигляд [8]:

$$f(\Delta x) = (2\pi k_d \Delta t)^{-1/2} \exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{2k_d \Delta t}\right)$$

і володіє властивістю подібності

$$f(\gamma \cdot (x(\gamma(t + \Delta t)) - x(\gamma t))) = \sqrt{\gamma} \cdot f(x(t + \Delta t) - x(t)),$$

що дозволяє перейти до узагальненого броунівського руху.

Варіювання показника ступеня α в межах одиничного інтервалу $[0, 1]$ призводить до опису узагальненого броунівського руху (УБР) $B_f(t)$, що має фрактальний характер з показником Херста $H = \alpha$ [8] і дисперсією $\sigma_{\Delta B}^2 t^{2\alpha}$. У [10] доведе-

но, що взаємозв'язок між $B(t)$ і $B_f(t)$ визначається таким співвідношенням з коефіцієнтом, котрий виражається через гамма-функцію

$$B_f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha + 1/2)} \cdot \int_{-\infty}^t (t-y)^{\alpha-0,5} dB(t), \quad (1)$$

з якого слідує, що значення випадкового процесу залежить від всіх його попередніх приростів, а властивість подібності зберігається.

Розглянемо дисперсію непересічних приростів процесу $B_f(t)$:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta B_f}^2 &= M \left[(B_f(t + \Delta t) - B_f(t))^2 \right] = \\ &= M \left[(B_f(\Delta t) - B_f(0))^2 \right] = M \left[B_f^2(\Delta t) \right] = \sigma_{\Delta B}^2 \Delta t^{2\alpha}. \end{aligned} \quad (2)$$

Відмітимо, що, з іншого боку,

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta B_f}^2 &= M \left[(B_f(t + \Delta t) - B_f(t))^2 \right] = \\ &= \sigma_{\Delta B}^2 (t + \Delta t)^{2\alpha} + \sigma_{\Delta B}^2 t^{2\alpha} - 2K(B_f(t + \Delta t); B_f(t)). \end{aligned} \quad (3)$$

З (2) і (3) витікає, що кореляція приростів узагальненого фрактального броунівського руху (ФБР) дорівнює

$$\begin{aligned} K_f(t + \Delta t; t) &= K(B_f(t + \Delta t); B_f(t)) = \\ &= \frac{1}{2} \sigma_{\Delta B}^2 \left((t + \Delta t)^{2\alpha} + t^{2\alpha} - (\Delta t)^{2\alpha} \right), \end{aligned}$$

а, отже, кореляція приростів для часових інтервалів (t_2', t_2'') і (t_1', t_1'') , що не мають перетинів, розраховується як

$$\begin{aligned} K_f(\Delta t_2; \Delta t_1) &= \frac{1}{2} \sigma_{\Delta B}^2 \left((t_2'' - t_1')^{2\alpha} + \right. \\ &\left. + (t_2' - t_1'')^{2\alpha} - (t_2'' - t_1'')^{2\alpha} - (t_2' - t_1')^{2\alpha} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

і визначає фрактальний шум гаусового процесу.

Згідно [6] кореляція, що визначена виразом (4), характеризується довготривалою залежністю, яка пропорційна степеневій функції $\beta^{(2\alpha-2)}$, де основа ступеня β оцінюється різницею між даними інтервалами.

Враховуючи вищесказане, можна визначити основні статистичні властивості УБР, що дозволяють побудувати наступну модель ФБР-процесу:

- 1) $M[B_f(t)] = 0$;
- 2) $k_f(t + \Delta t; t) = \frac{1}{2} \left((t + \Delta t)^{2\alpha} + t^{2\alpha} - (\Delta t)^{2\alpha} \right)$;
- 3) $\sigma^2 [B_f(t + \Delta t) - B_f(t)] = (\Delta t)^2$.

Якщо розглядати дискретні прирости УБР-процесу з одиничним приростом $\Delta t = 1$, то провівши у (4) такі заміни:

$t_1' = m_1$; $t_1'' = m_1 + 1$; $t_2' = m_1 + m_2$; $t_2'' = m_1 + m_2 + 1$,
можна отримати вираз для коефіцієнта кореляції

$$k_f = \frac{1}{2} \left((m_2 + 1)^{2\alpha} - 2m_2^{2\alpha} + (m_2 - 1)^{2\alpha} \right),$$

який при розкладанні доданків в ряд Тейлора показує існування довготривалої степеневій залежності порядку $2\alpha - 2$ на «хвості розподілу».

Якщо розглянути кінцевий цілочисельний інтервал $[0, M]$ значень часу і відповідний масив центрованих ($m_\xi = 0$) нормально розподілених на відріжку $[0, 1]$ чисел $\xi_i \in N(0, 1)$, де $i \in \overline{1, M}$, з одиничною дисперсією, то відповідно до алгоритму, що запропоновано в [10], можна отримати такий вираз для дискретних одиничних приростів УБР:

$$\begin{aligned} B_f(t) - B_f(t-1) &= \\ &= \frac{1}{m_1^\alpha \Gamma(\alpha + 1/2)} \times \left(\sum_{i=1}^{m_1 t} i^{\alpha-1/2} \xi_{(1+m_1(M+t)-i)} + \right. \\ &\left. + \sum_{i=1}^{m_1(M-1)} \left((n+i)^{\alpha-1/2} - i^{\alpha-1/2} \right) \times \right. \\ &\left. \times \xi_{(1+m_1(M-1+t)-i)} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

При $t \gg M$ додатки стають незалежними, тобто $B_\xi(t)$ описується гаусовим процесом з незалежними приростами.

Із врахуванням (5) розроблено алгоритм моделювання фрактального шуму, в якому проводиться вагове підсумовування ряду марківських гаусових змінних зі зростаючими часами кореляції і врахуванням високочастотної складової з марківськими властивостями. Вираз (5) в алгоритмі описує низькочастотний шум, котрий посилюється при показнику Херста, що перевищує значення $1/2$, що приводить до зростання відхилень амплітуди.

2. Оцінка відхилення ДТЗ-трафіка від стаціонарного режиму

Розглянемо фрактальний трафік ІПД в проміжних вузлах віртуальних каналів, де відбувається процес їх статистичного мультиплексування, що призводить до варіацій затримок в розповсюдженні пакетів.

Позначимо випадкову величину, що характеризує відхилення трафіку ІПД від допустимого значення як $\Theta(t)$. Тоді

$$\frac{d\Theta(t)}{dt} = n(t), \quad (6)$$

де $n(t)$ – величина, що характеризує відхилення інтенсивності трафіку $M[n(t)] = 0$.

Для визначення статистик відхилення інтенсивності трафіку слід врахувати, що час кореляції процесу $n(t)$ кінцевий і не перевершує середнього часу між приходом пакетів τ_0 . Стосовно трафіку, у високошвидкісних комп'ютерних мережах час передачі пакетів між вузлами мережі менше часу зна-

ходження пакетів в буферах проміжних вузлів. Тому величину τ_0 можна прийняти за час кореляції процесу. Інтервал часу, через який відбувається вимірювання інтенсивності передачі, дорівнює роздільній здатності приладу або пристрою спостереження, причому для більшості засобів вимірювання виконується умова $\Delta t \gg \tau_0$. Через цю обставину, на підставі центральної граничної теореми, процес $n(t)$ можна вважати гаусовим з математичним сподіванням, що дорівнює нулю, і дельтаподібною кореляційною функцією, тобто гаусовим білим шумом.

За умови, що $\Theta(t_0) = \Theta_0 = 0$, рішення рівняння (6) можна записати як [10]:

$$\Theta(t) = \int_{t_0}^t d\Theta(\tau) = \int_{t_0}^t n(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Враховуючи, що для стаціонарного гаусового білого шуму з інтенсивністю N_0 справедливі такі співвідношення:

$$M\{n(t)\} = 0; \quad (8)$$

$$K_{2n}(t_1, t_2) = M\{n(t_1)n(t_2)\} = N_0\delta(t_2 - t_1), \quad (9)$$

то для вінерівського процесу при $\Theta_0 = 0$ отримаємо

$$M[\Theta(t)] = \int_{t_0}^t M[n(\tau)] d\tau = 0; \quad (10)$$

$$D[\Theta^2(t)] = \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t M[n(\tau_1)n(\tau_2)] d\tau_1 d\tau_2 = N_0 \cdot t; \quad (11)$$

$$K_{2\Theta}(t_1, t_2) = \int_{t_0}^{t_2} \int_{t_0}^{t_1} M[n(\tau_1)n(\tau_2)] d\tau_1 d\tau_2 = N_0 \cdot \min(t_1, t_2) = \frac{N_0}{2}(t_1 + t_2 - |t_2 - t_1|). \quad (12)$$

З урахуванням виразу (11) процес $\Theta(t)$ є нестационарним, а через прийняті припущення щільність розподілу $\Theta(t)$ є гаусовою і має вигляд

$$f(\Theta(t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0 t}} \exp\left\{-\frac{B^2(t)}{2D[\Theta(t)]}\right\}, \quad t > 0. \quad (13)$$

Нестационарний характер процесу $\Theta(t)$ утрудняє його дослідження як моделі мережевих процесів. Розглянемо приріст процесу

$$\Theta(t_1) - \Theta(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} n(\tau) d\tau. \quad (14)$$

На основі (10) і (11) можна записати вираз для математичного сподівання і дисперсії процесу приросту значень броунівського руху:

$$m_{\Theta} = M[\Theta(t_1) - \Theta(t_0)] = 0; \quad (15)$$

$$D_{\Theta} = M[(\Theta(t_1) - \Theta(t_0))^2] = N_0(t_1 - t_0) \sim t_1 - t_0. \quad (16)$$

Розглянемо властивості отриманого процесу з урахуванням того, що на практиці спостереження проводяться з кінцевою роздільною здатністю. Нехай координата процесу реєструється через кожен проміжок часу $k\tau$, де k – довільне ціле число. Виберемо, наприклад $k = 2$. В цьому випадку приріст координати ξ дорівнює сумі двох незалежних приростів ξ' і ξ'' на інтервалі $t = 2\tau$ і для нього може бути задана функція розподілу [8]:

$$f(\xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi 2D_{\Theta}\tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{2 \cdot 2D_{\Theta}\tau}\right\}.$$

Взаємна кореляційна функція процесу приростів при виконанні умови $t_2 > t_1 > t_0 > 0$ дорівнює

$$M[(\Theta(t_2) - \Theta(t_1))(\Theta(t_1) - \Theta(t_0))] = k(t_1, t_2) - k_2(t_1, t_1) - k_2(t_2, t_0) + k_2(t_1, t_0) = N_0 t_1 - N_0 t_1 - N_0 t_0 + N_0 t_0 = 0. \quad (17)$$

Таким чином, прирости $\Theta(t)$ є корельованими, а через гаусів характер щільності розподілу (13) вони також є незалежними. У загальному випадку щільність розподілу приростів є такою:

$$f(B(t) - B(t_0)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0(t - t_0)}} \exp\left\{-\frac{(B(t) - B(t_0))^2}{2N_0(t - t_0)}\right\}.$$

Очевидно, що отримана щільність розподілу володіє властивістю масштабної інваріантності або самоподібністю. Дійсно, сумісна ймовірність того, що перший приріст ξ' знаходиться у інтервалі $[\xi', \xi' + d']$, а другий, ξ'' , – у інтервалі $[\xi'', \xi'' + d\xi'']$, дорівнює

$$P(\xi', \xi'', \tau) = P(\xi', \tau) P(\xi'', \tau).$$

Інтегрування по всіх можливих комбінаціях ξ' і ξ'' приводить до такого виразу для щільності ймовірності значень

$$f(\xi, 2\tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi D_{\Theta} 2\tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{4D_{\Theta} 2\tau}\right\}.$$

Таким чином, приріст координати частинки залишається гаусовим випадковим процесом з нульовим математичним сподіванням, але збільшеною дисперсією. У разі довільного інтервалу $k\tau$ отримаємо

$$p(\xi, k\tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi D_{\Theta} k\tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{4D_{\Theta} k\tau}\right\}.$$

Цю властивість подібності функції розподілу можна виразити в явному вигляді, ввівши нову змінну, тобто змінивши масштаб часу в k разів, а масштаб вимірювання координати в $k^{1/2}$ разів. Тоді отримаємо таке співвідношення подібності:

$$p(k^{1/2}\xi, k\tau) = p(\xi^*, \tau^*) = k^{-1/2}p(\xi, \tau).$$

Іншими словами, якщо змінити масштаб часу спостереження процесу в k раз, то дисперсія також зміниться в k разів і буде рівною $D_B = N_0k(t-t_0)$. Тому, для виконання умови нормування щільності розподілу, необхідно змінити масштаб приросту вінерівського процесу в $k^{1/2}$ раз.

Аналізуючи проведені перетворення можна зробити висновок, що даний процес є інваріантним в сенсі функції щільності розподілу для перетворення, яке змінює масштаб часу в k разів, а масштаб координат в $k^{1/2}$ разів. Щільність розподілу приростів для зміненого масштабу часу можна записати як

$$f[k^{1/2}[\Theta(kt) - \Theta(kt_0)]] = \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0 k(t-t_0)}} \exp\left\{-\frac{[k^{1/2}(\Theta(t) - \Theta(t_0))]^2}{2N_0 k(t-t_0)}\right\},$$

тобто

$$k^{1/2}f[k^{1/2}[\Theta(kt) - \Theta(kt_0)]] = f[\Theta(t) - \Theta(t_0)]. \quad (18)$$

Можна зробити висновок, що щільність ймовірності розподілу відмасштабованого вінерівського процесу, поділена на коефіцієнт $k^{1/2}$, не залежить від вибраного масштабу часу, тобто умова самоподібності цього стохастичного процесу виконується в сенсі рівності за розподілом:

$$k^{1/2}(\Theta(kt) - \Theta(kt_0)) = \Theta(t) - \Theta(t_0).$$

Вважаючи на вищенаведене, твердимо таке: випадкову функцію переміщення $\Theta(t)$ можна задати за допомогою нормально розподіленого випадкового процесу з незалежними значеннями $\{\xi\}$. В цьому випадку приріст координати броунівської частини залежить від $|t-t_0|$ і визначається як

$$\Delta B(t) = \Theta(t) - \Theta(t_0) \sim \xi|t-t_0|^H = \xi k^H \tau^H$$

для будь-якої пари моментів часу t і t_0 , а також параметру $H = 1/2$, заміна котрого на будь-яке дійсне число з інтервалу $0 < H < 1$ призводить до узагальненого броунівського руху $\Theta_H(t)$, для якого

$$m_H = 0; \quad (19)$$

$$D_H = M\left[(\Theta_H(t) - \Theta_H(t_0))^2\right] \sim |t-t_0|^{2H}. \quad (20)$$

В порівнянні з (15) зміна дисперсії відповідно до (20) відбувається таким чином: при $H < 1/2$ швидше, при $H > 1/2$ повільніше. Для реальних процесів в комп'ютерних мережах має місце умова $1/2 < H < 1$, що вказує на їх статистично протяжний характер.

Для оцінки властивостей масштабної інваріантності обчислимо нормовану кореляційну функцію

(коефіцієнт кореляції) приростів $\Theta_H(t)$ для двох непересічних інтервалів часу (t_0, t) і $(t, 2t)$.

Тоді коефіцієнт кореляції

$$r_H(t) = \frac{M\left[(\Theta_H(t) - \Theta_H(t_0))(\Theta_H(2t) - \Theta_H(t))\right]}{M\left[(\Theta_H(t) - \Theta_H(t_0))^2\right]}.$$

За умови $\Theta_H(t_0) = 0$:

$$r_H(t) = \frac{M[\Theta_H(t)\Theta_H(2t)] - M[\Theta_H^2(t)]}{M[\Theta_H^2(t)]} = 2^{2H-1} - 1. \quad (21)$$

На підставі виразу (21) і враховуючи, що $M[\Theta_H^2(t)] = t^{2H}$, визначимо:

$$k_{2H}(t) = (2^{2H-1} - 1)t^{2H}. \quad (22)$$

При $H = 1/2$ маємо $r_H(t) = 0$ для будь-яких значень t . Проте при $H \neq 1/2$ маємо $r_H(t) \neq 0$ незалежно від t . Так, якщо $H > 1/2$, то в імовірнісному сенсі в процесі підтримується та, що є у момент часу t , тенденція. Якщо прирости були позитивними, то і надалі в середньому відбуватиметься збільшення координат процесу. Таким чином, для процесу з $H > 1/2$ тенденція до збільшення координат у минулому означає тенденцію до збільшення в майбутньому і це властивість процесу в імовірнісному сенсі справедлива для довільно великих t . При $H < 1/2$ зростання приростів у минулому означає зменшення в майбутньому, а тенденція до зменшення у минулому робить ймовірним збільшення в майбутньому. Використовуючи (1), випадкову функцію $\Theta_H(t)$ можна виразити через прирости випадкового гаусового процесу $\Theta(t)$ таким чином:

$$\Theta_H(t) = \frac{1}{\Gamma(H+1/2)} \int_{-t}^t (t-t')^{H-1/2} d\Theta(t') = \frac{1}{\Gamma(H+1/2)} \int_{-\infty}^t h(t-t') dB(t'), \quad (23)$$

де $\Gamma(x)$ – гамма функція, $h(t-t')$ – імпульсна перехідна функція, із властивості масштабної інваріантності котрої маємо

$$h(kt-k\tau) = k^{H-1/2}h(t-\tau).$$

З цього співвідношення виходить, що для вінерівського процесу справедливе співвідношення

$$d\Theta(k\tau) = k^{1/2}d\Theta(\tau)$$

і використовуючи (9) отримаємо

$$\Theta_H(k\tau) = k^H\Theta_H(\tau)$$

або

$$k^{-H}\Theta_H(k\tau) = \Theta_H(t), \quad (24)$$

яке виражає самоподібний характер процесу $\Theta_H(t)$.

Перейдемо до розгляду статистик процесу $B_H(t)$ для випадку дискретного часу.

Використовуючи (24), можна записати вираз для кореляційної функції фрактального вінерівського процесу:

$$k_{2H}(t_1, t_2) \sim 1/2 \left[t_1^{2H} + t_2^{2H} - |t_2 - t_1|^{2H} \right]. \quad (25)$$

На інтервалах заданої тривалості T для дискретних моментів спостереження $(t_n, t_n - T)$ і $(t_{n+k}, t_{n+k} - T)$, рознесених на час kT

$$r(k, T) \sim \frac{1}{2} \left[(k+1)^{\alpha+1} - 2k^{\alpha+1} + (k-1)^{\alpha+1} \right]. \quad (26)$$

При $k = 1$ і враховуючи, що $\alpha = 2H - 1$, маємо

$$r(1, T) \sim \frac{1}{2} \left[2^{2H} - 2 \right] = 2^{2H-1} - 1, \quad (27)$$

що співпадає з результатом перетворень в (21), що свідчить про збереження фрактального характеру зміни рахункових статистик, породжених безперервним стохастичним процесом $\Theta_H(t)$. При великих k і T коефіцієнт кореляції апроксимується як

$$r(k; T) \sim \frac{1}{2} \alpha (\alpha + 1) k^{\alpha-1} = H(2H-1) k^{2H-2}, \quad (28)$$

тобто, чим більше значення параметра H , тим більш протяжною залежністю характеризуються властивості даного випадкового процесу.

Висновки

Проведено аналіз ДТЗ-трафіка. Для цього використано математичний апарат, котрий описує узагальнений броунівський рух. Доведено, що в комп'ютерних системах критичного призначення контроль та управління параметрами ДТЗ-трафіка необхідно здійснювати автоматично. Для цього авторами розроблено математичну модель процесу, котра дозволяє провести оцінку відхилення ДТЗ-трафіка від стаціонарного режиму.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ДВЗ-ТРАФИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г.А. Кучук, А.А. Коваленко

В статье проведен анализ трафика с долговременными зависимостями (ДВЗ-трафика). Для его анализа предлагается использовать математический аппарат, который описывает обобщенное броуновское движение. Доказано, что в компьютерных системах критического назначения контроль и управление параметрами ДВЗ-трафика необходимо осуществлять автоматически. Для этого авторами предложена математическая модель процесса, которая позволяет провести оценку отклонения ДВЗ-трафика от стационарного режима.

Ключевые слова: стационарный режим, фрактальный трафик, параметры ДВЗ-трафика.

AUTOMATIC MONITORING AND CONTROL OF LTD-TRAFFIC PARAMETERS IN COMPUTER SYSTEMS CRITICAL OF CRITICAL APPLICATION

H.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko

The paper represents analysis of a traffic with long-term dependency (LTD-traffic). For such analysis it is proposed to use the mathematical formalism that describes a generalized Brownian motion. It is proved that in the computer systems of critical application, monitoring and control of LTD-traffic parameters should be implemented automatically. To do this, the authors propose a mathematical model of the process, which allows to assess the deviations in LTD-traffic from stationary mode.

Keywords: stationary mode, fractal traffic, parameters of LTD-traffic.

Список літератури

1. Бутмалай Д. Анализ построения современных корпоративных сетей передачи данных [Электронный ресурс]. / Д. Бутмалай // Мир связи. – 2005. – № 7.
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 4-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 943 с.
3. Кучук Г.А. Синтез стратифицированной информационной структуры интеграционной компоненты гетерогенной складовой Единой АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.
4. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 7. – С. 106-112.
5. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святой вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
6. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НГУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.
7. Еришов В.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети / В.А. Еришов, Н.А. Кузнецов. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2003. – 432 с.
8. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення / Г.А. Кучук. – Х.: ХУ ПС, 2013. – 254 с.
9. Стеклов В.К. Телекомунікаційні мережі / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2001. 392 с.
10. Leland W. On the self-similar nature of IP-traffic / W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1997. – № 3. – P. 423 – 431.
11. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.

Надійшла до редколегії 25.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

УДК 681.513

В.В. Лимаренко, И.П. Хавина

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА

В работе для планирования загрузки оборудования механообрабатывающего цеха предложена система поддержки принятия решений основанная на мультиагентной системе, которая учитывает особенности технологического процесса лезвийной обработки, включая накопленный износ инструмента и в условиях имитационной модели производства обеспечивает минимальное время изготовления партий изделий.

Ключевые слова: планирование загрузки оборудования, мультиагентная система, оптимизация параметров технологических процессов обработки резанием с учетом износа инструмента, многокритериальная оптимизация, Парето-оптимальное решение.

Введение

Современное машиностроительное предприятие, базирующееся на механической обработке материалов, представляет собой сложную многокомпонентную систему, содержащую большое количество связей, значительный объем материальных ресурсов и потоков информации. При этом, как правило, такое предприятие является корпорацией – крупным объединением предприятий, включающим как производственные, так и не производственные подразделения, что требует наличия корпоративной системы управления производством для оперативного решения задач управления [1 – 4]. Создание системы управления таким предприятием задача сложная и в каждом конкретном случае имеет свои особенности.

Постановка проблемы и анализ литературы.

Развитие современных информационных технологий дает широкие возможности для совершенствования процессов управления, а наиболее эффективными оказываются системы поддержки принятия решений (СППР), построенные на основе подходов искусственного интеллекта (ИИ) – мультиагентных систем (МАС), которые доказали свою работоспособность в условиях реального времени [5 – 10] и состоят из группы различных типов агентов, которые могут взять на себя конкретные роли в организационной структуре [6]. Особенностью применения МАС является отсутствие системы глобального управления, децентрализация данных, вычисления производятся в асинхронном режиме. Индивидуальная оптимизация действий каждого агента приводит к глобальному оптимуму системы. Этот эффект возникает в результате взаимодействия агентов, которое основано на принципах аукциона, с помощью которого и определяется оптимальное решение в конкретной ситуации [6, 7]. Таким образом агентная технология является масштабируемой для широкого круга задач планирования и моделирования как для

небольших, так и крупных предприятий с сотнями подключенных устройств. В работе для планирования загрузки оборудования механообрабатывающего цеха предложена структура МАС, которая учитывают особенности технологического процесса резания, включая накопленный износ инструмента и в условиях имитационной модели производства с помощью комбинаторных аукционов обеспечивает минимальное время изготовления партий изделий.

Результаты исследований

Мультиагентная система цеха механообработки имеет следующую структуру:

$$MAS = \langle \{A^1, \dots, A^i\}, \{K_1, \dots, K_k\}, \{KB_1, \dots, KB_m\} \rangle,$$

где $\{A^1, \dots, A^i\}$ – множество агентов; $\{K_1, \dots, K_k\}$ – множество образуемых в данный момент коалиций; $\{KB_1, \dots, KB_m\}$ – базы знаний МАС.

Коалицией считается временное объединение некоторого числа агентов для достижения общей цели, при этом их ресурсы становятся общими. Коалиция обеспечивает агентов возможностью договориться и составить совместный план действий по использованию общих ресурсов и средств для согласованного выполнения всех заказов [6, 7]. Коалиция агентов имеет структуру

$$K = \langle \text{Name}, \{A^1, \dots, A^n\}, G, \{St_1, \dots, St_l\}, KB \rangle,$$

где Name – имя коалиции; $\{A^1, \dots, A^n\}$ – множество агентов, входящих в коалицию; G – цель коалиции; $\{St_1, \dots, St_l\}$ – множество допустимых стратегий поведения коалиции; KB – база знаний коалиции.

Выполнение плана заказов

$$PZ = \{PZ_1, \dots, PZ_m, \dots, PZ_r\}$$

формируется коалициями $\{K_1, \dots, K_m, \dots, K_q\}$ и их целями $\{G_1, \dots, G_m, \dots, G_q\}$ и состоит из определенной приоритетом последовательности действий $\{DK_1, \dots, DK_m, \dots, DK_p\}$.

План PZ_m – это структура

$$PZ_m = \langle \{DK_1, \dots, DK_m, \dots, DK_p\}, G_m, \{AD_1, \dots, AD_n\}, KB_m, \{ZK_1, \dots, ZK_m\} \rangle,$$

где $\{DK_1, \dots, DK_m, \dots, DK_p\}$ – действия плана; G_m – цель плана; $\{AD_1, \dots, AD_n\}$ – множество агентов, осуществляющих план; $\{ZK_1, \dots, ZK_m\}$ – ресурсы системы. Процесс получения деталей с помощью ТП основанных на операциях механообработки при помощи резания можно представить в виде следующих этапов:

- 1) формирование заявки на изготовление деталей в виде множества заказов $\{Z_1, \dots, Z_j\}$, упорядоченного в порядке приоритета их изготовления, где Z_j – количество заказанных деталей j-го вида;
- 2) выбор оптимальной заготовки для j-го вида детали;
- 3) поиск в БЗ базового ТП изготовления j-го вида изделий в виде набора операций

$$TP^j = O_1, O_2, \dots, O_{j_0}, j = \overline{1 \div j_0},$$

где j_0 – количество операций в базовом ТП для j-го вида изделия;

- 4) определение станка, который выполнит операцию с минимальным временем, с учетом всех технологических ограничений на качество обработанной поверхности, и с учетом времени транспортировки детали и инструмента;
- 5) составление и визуализация расписания станочного оборудования цеха.

На рис. 1 представлена структура MAC управления механообрабатывающего цеха. Работу MAC цеха (рис. 1) можно представить как взаимодействие множества агентов заказов

$$A_{ord}^i, i = 1, \dots, I,$$

где I – количество поступивших заказов. A_{ord}^i , которые инициируют создание агентов деталей $A_{dt}^j, j = 1, \dots, J$, где J – количество деталей j-вида.

A_{dt}^j посылают запросы к агентам заготовок

$$A_{wp}^n, n = 1, \dots, N_{wp},$$

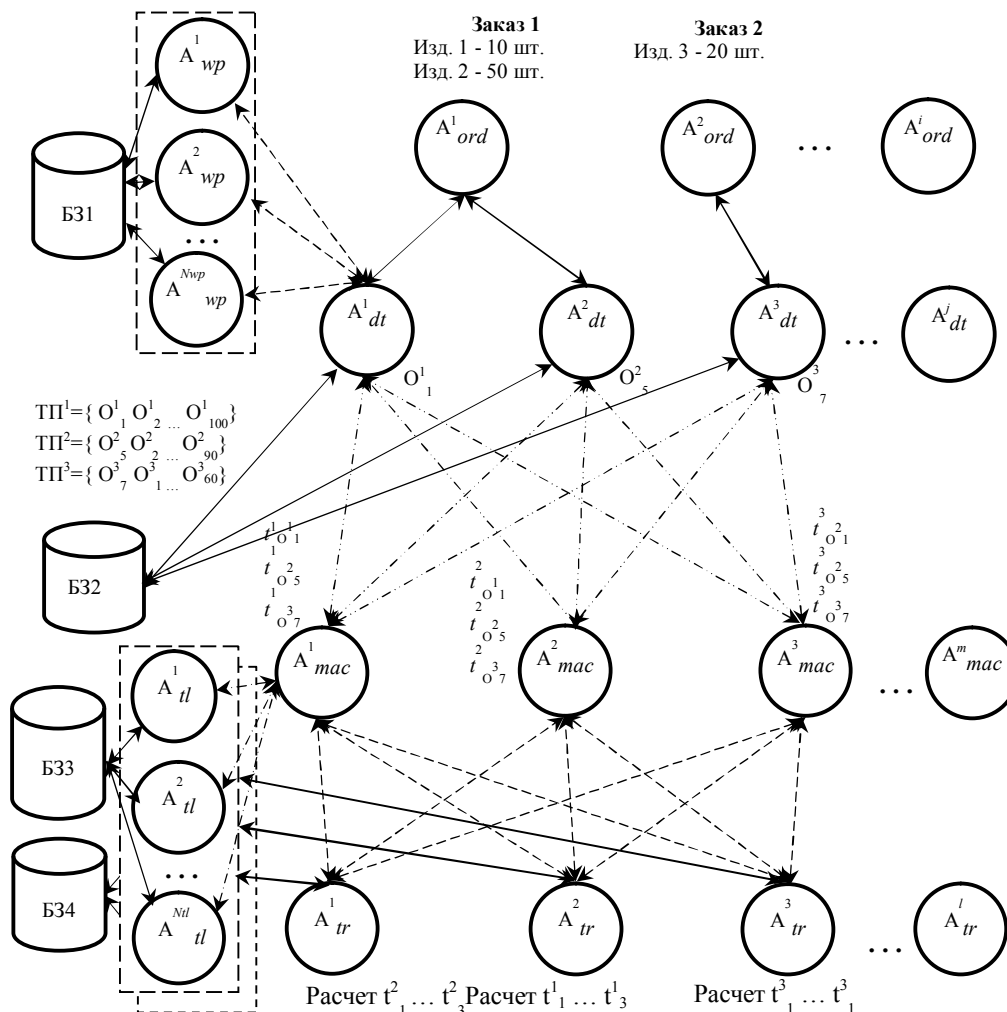


Рис. 1. Мультиагентная модель производственного цеха; БЗ1 – база знаний заготовок; БЗ2 – база знаний базового ТП; БЗ3 и БЗ4 базы знаний инструментов и приспособлений

где N_{wp} – количество видов заготовок, для определения оптимальных заготовок для деталей и, на основании данных БЗ ТП, определяют базовые ТП изготовления деталей.

Затем A_{dt}^j последовательно посылают запросы на выполнение операций из множества базового ТП к агентам обрабатывающего оборудования (станкам) $A_{mac}^m, m=1, \dots, M$, где M – число станков, участвующих в аукционе на выполнение одной операции ТП. Каждый A_{mac}^m анализирует запрос на операцию от A_{dt}^j и если станок может ее выполнить и он свободен (или освободится через некоторое время), то агенты A_{mac}^m определяют время выполнения операции на станке. Для определения времени доставки детали, инструмента и приспособлений A_{mac}^m посылают свои запросы на доставку к коалиции агентов транспортных роботов $A_{tr}^r, r=1, \dots, R$, где R – число роботов, участвующих в коалициях, и через аукцион по времени доставки определяют для каждого робота обслуживаемый станок, инструмент и приспособление. Каждое время доставки рассчитывается A_{tr}^r , который отвечает за управление роботом, при этом законы управления зависят от марки робота, его загруженности, скорости перемещения, наличия манипуляторов и т.д.

Полученные от всех A_{mac}^m коалиции данные о времени используются при проведении аукциона для оптимального распределения всех операций ТП для всех A_{dt}^j . При окончании ТП агент детали принимает решения о транспортировке детали на склад или др.

Целевая функция коалиции агентов заготовок, сформированная для изготовления партии детали j -го типа имеет вид

$$G_{wp} = \sum_{n \in N_{wp}} d_j^n f_j \Rightarrow \min, \quad 0 \leq d_j^n \leq Z_j,$$

где d_j^n – количество заготовок, предлагаемых A_{wp}^n агентом; f_j – минимальный показатель экономической эффективности j -й заготовки, определяемый как разность стоимостей изготовления партий j -х видов заготовок; N_{wp} – множество агентов заготовок, входящих в коалицию и предлагающих изготовление изделия из j -ой заготовки. Для поиска оптимальной заготовки применялся аукцион, реализующий жадный алгоритм (на рис. 1 аукцион обозначен $\leftarrow \rightarrow$).

Целевая функция коалиции агентов станков A_{mac}^m для выполнения операций по изготовлению

j -й детали, например, может быть представлена в виде суммарного времени на изготовление детали в виде

$$G_{mac} = \sum_{m \in M} t_{mj} \Rightarrow \min,$$

где t_{mj} – время выполнения операций осуществляемых m -м агентом оборудования с учетом времени доставки детали, инструмента и приспособлений; M – множество агентов станков, входящих в коалицию и предлагающих выполнение операции для j -й детали. Для поиска оптимальной загрузки станков планируется применение комбинаторного аукциона на основе аукциона PAUSE, который использует распределенный алгоритм решения задачи, выполняется в несколько этапов и находит квазиоптимальное решение (на рис. 1 аукцион обозначен $\leftarrow \rightarrow$). Более подробно эти вопросы будут рассмотрены в следующих публикациях.

Решение транспортной задачи для коалиции транспортных роботов, свободных в данный момент времени и составляющих временную коалицию показано в [11] и реализуется через решение многокритериальной задачи оптимизации работы транспортных роботов путем формирования ситуационных коалиций роботов и проведения этими коалициями аукционов в режиме реального времени. На рис. 1 аукцион обозначен $\leftarrow \rightarrow$. Выбор оптимального инструмента для операции также производится на основе аукциона, (обозначено $\leftarrow \rightarrow$).

Компьютерная модель системы, для создания которой применялся редактор Protégé, язык Java и приложение Jade, показала гибкость, т.к. динамично реагирует на изменения, улучшает решения в реальном времени. Принимаемые решения характеризуются высокой скоростью реакции на события, небольшим временем нахождения решения задачи и представлены в [11].

Одним из важных этапов построения эффективной системы управления ТП является этап оптимизации режимов операций механообработки, на котором используя данные, полученные на этапе структурного синтеза ТП, определяются режимы работы выбранного оборудования обеспечивающие оптимальную его работу с позиции выбранного критерия (критериев) оптимальности [1]. Задача параметрической оптимизации процессов механообработки является многокритериальной многопараметрической задачей оптимизации (МЗО). Это обусловлено тем, что критериями оптимизации ТП механообработки зачастую являются различные достаточно противоречивые критерии, такие как производительность (Q), себестоимость (A), качество обработанной поверхности и т.д.

Для решения МЗО применяются различные подходы и методы: метод обобщенных критериев (аддитивный критерий, мультипликативный критерий);

методи «свертки» (метод последовательных уступок, метод главного критерия); специальные методы решения задач в многокритериальной постановке (лексикографический метод, поиск Парето-оптимального решения). Все методы решения МЗО, связанные с переходом от МЗО к однокритериальной задаче имеют схожие недостатки – сложность выбора «главного критерия», трудность в назначении весовых коэффициентов для различных критериев, наличие допущений или уступок, сложность при сравнении критериев, имеющих разные размерности, и т.п.

Для получения численных решений МЗО ТП применяются алгоритмы, в которых непосредственно используют концепцию доминирования по Парето, например, VEGA, FFGA, NPGA, SPEA [12].

Наибольшее влияние на изменение выходных параметров процесса механообработки имеет величина накапливаемого износа инструмента (h_z). Это связано с тем, что при одних и тех же входных операционных параметрах от износа зависит уровень сил резания, шероховатость обработанной поверхности, температура в зоне резания, размерная точность получаемой детали и т.д. [13, 14]. Новизной данного подхода является учет величины текущего накапливаемого износа инструмента, что позволяет получить физически более адекватную математическую модель процесса и, как следствие, физически более реальное оптимальное решение для МЗО.

В работе при постановке задач параметрической оптимизации процессов обработки резанием на примере операции чистового точения рассматриваются 4 целевые функции: себестоимость операции A , энергозатраты E_z , размерная точность Δ_Σ , производительность операции Q и 10 ограничений: по мощности электродвигателя привода главного движения станка N_{dv} ; по минимальной и максимальной скорости резания V ; по минимальной и максимальной скорости подачи S ; по прочности режущего инструмента (по максимальному напряжению σ_{max}); по жесткости режущего инструмента (стреле прогиба f_i); по жесткости заготовки (стреле прогиба f_z); по прочности механизма продольной подачи станка (максимальной силе F_{xd}); по шероховатости обработанной поверхности R_a . Оптимальное решение определяется путем минимизации (максимизации) соответствующих целевых функций или их комбинации за счет поиска оптимального сочетания варьируемых параметров скорости подачи S и скорости резания V в пределах операции по обработке каждой последующей детали.

Рассматриваемые в работе целевые функции имеют вид [13, 15]:

$$A = \frac{l_z}{S} \left(a_{rab} + a_{exp} + \frac{e}{T_{ef}} + \frac{q_e F_Z V}{6 \cdot 10^4 \eta_{st}} \right) \Rightarrow \min,$$

$$E_z = \frac{F_Z V}{6 \cdot 10^4 \eta_{st}} \Rightarrow \min,$$

$$\Delta_\Sigma = \frac{F_y l_z^3}{k_z E_z I_z} \Rightarrow \min, Q = \frac{St}{l_z \Delta} \Rightarrow \max,$$

где l_z – длина заготовки, мм; a_{rab} – минутная заработная плата рабочего, грн/мин; a_{exp} – расходы на эксплуатацию станка, грн/мин; e – стоимость инструмента, грн; T_{ef} – время эффективной эксплуатации инструмента (эффективный период стойкости), мин; q_e – стоимость одного кВт/час электроэнергии, грн; F_Z – тангенциальная сила резания, Н; η_{st} – КПД станка; F_y – радиальная сила резания, Н; k_z – коэффициент, зависящий от способа закрепления заготовки; E_z – модуль продольной упругости заготовки, МПа; I_z – момент инерции поперечного сечения заготовки, мм⁴; t – глубина резания, мм; Δ – припуск, мм.

Ограничения при решении МЗО представлены зависимостями из [13, 15]:

$$N_{dv} = \frac{F_Z V}{60 \cdot 10^4 \eta_{st}} \leq N_{dp},$$

$$V_{min} \leq V \leq V_{max}, S_{min} \leq S \leq S_{max},$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_z l_i k_{zp}}{W_i} \leq [\sigma_i],$$

$$f_i = \frac{F_z l_i^3}{3 E_i I_i} \leq f_{id},$$

$$f_z = \frac{F_y l_z^3}{k E_z I_z} \leq f_{zd},$$

$$F_x \leq F_{xd}, R_a(V, S, t, h_z) \leq R_{a \max},$$

где N_{dp} – предельная паспортная потребляемая мощность электродвигателя станка, кВт; V_{min} – минимальная допустимая скорость резания станка, м/мин; V_{max} – максимальная допустимая скорость резания станка, м/мин; S_{min} – минимальная допустимая скорость подачи станка, мм/мин; S_{max} – максимальная допустимая скорость подачи станка, мм/мин; k_{zp} – коэффициент запаса прочности; W_i – момент сопротивления сечения державки резца, мм³; $[\sigma_i]$ – допустимое напряжение материала державки резца, МПа; l_i – длина державки резца, мм; E_i – модуль упругости материала державки, Н/мм²; I_i – момент инерции сечения державки резца, мм⁴; f_{id} – допустимая стрела прогиба державки резца, мм; f_{zd} – допустимая стрела прогиба заготовки, мм; F_x – осевая сила, Н; $R_{a \max}$ – максимально допускаемая шероховатость поверхности, мкм.

Следует отметить, что рабочие (выходные) параметры процесса обработки, такие, как время эф-

фективной эксплуатации инструмента $T_{эф}$, усилие резания F_z , F_y , шероховатость обрабатываемой поверхности R_a и др. зависят от варьируемых операционных параметров S и V и накопленного износа по задней поверхности режущего инструмента h_z . В свою очередь, приращение износа Δh_z за время обработки одной заготовки определяется уровнем ранее накопленного износа и операционными параметрами S и V . Отдельные функциональные зависимости для выходных параметров описываются аналитически, а в большинстве практических случаев используются экспериментально-аналитические или чисто экспериментальные зависимости [16 – 18].

Полученная математическая модель процесса точения имеет 41 входной параметр, 80 параметров процесса рассчитывается. Как ранее отмечалось, одной из проблем, возникающих при решении поставленной задачи, является то, что для некоторых параметров, входящих в математическую модель, вид функции, описывающий их с достаточной точностью, трудно формализуем, либо применяемые зависимости содержат эмпирические коэффициенты, получаемые в ходе обработки значительного количества экспериментов. Поэтому для получения ряда зависимостей в работе была применена НС персептрон с обратным распространением ошибки. При помощи НС были аппроксимированы данные из [16-18] для определения h_z и R_a . На рис. 2 и 3 показаны результаты аппроксимации при помощи НС экспериментальных данных из [16-18] для получения зависимостей

$$h_z = h_z(S, V, t);$$

$$R_a = R_a(S, V)$$

при фиксированной глубине резания.

Другие данные, необходимые для проведения расчетов, определялись либо на основе соответствующих аналитических зависимостей, либо из соответствующей справочной литературы или технической документации на оборудование и инструмент.

При аппроксимации данных с помощью НС удалось добиться максимальной погрешности 2-3 %.

В работе в качестве практического примера рассмотрен расчет оптимального режима обработки для тонкого точения ($\Delta = t$) с входными параметрами процесса:

- материал заготовки – сталь 52100;
- скорость резания станка $V = 1-400$ м/мин;
- скорость подачи станка $S = 0,1-0,24$ мм/оборот;
- глубина резания $t = 0,1$ мм;
- заготовки $l_z = 70$ мм,
- диаметр $D = 100$ мм;
- максимально допустимая шероховатость поверхности $R_{a\max} = 64$ мкм;
- минутная зарплата рабочего $a_{\text{rab}} = 0,83$ грн/мин;
- расходы на экспл. станка $a_{\text{exp}} = 8,5$ грн/мин;
- стоимость инструмента $e = 1250$ грн;
- стоимость кВт/час электроэнергии $q_e = 1,56$ грн;
- модуль продольной упругости заготовки $E_z = 2 \cdot 10^5$ МПа;
- коэффициент, зависящий от способа закрепления заготовки $k_z = 2$;
- модуль упругости материала $E_i = 2 \cdot 10^5$ МПа;

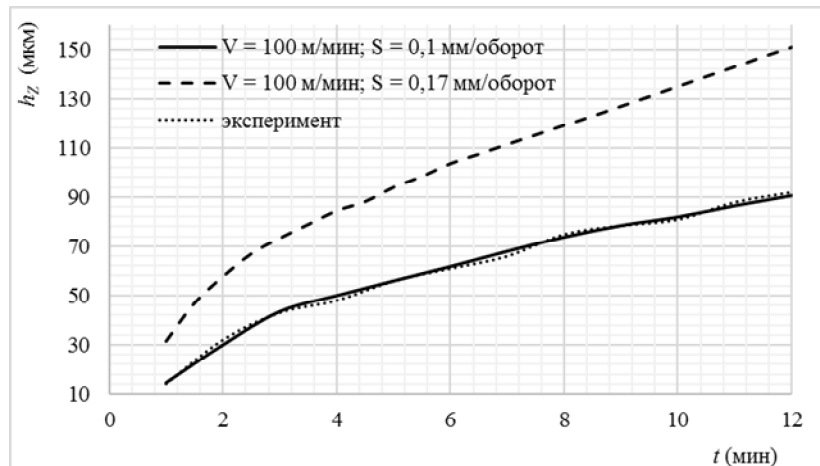


Рис. 2. График зависимости износа инструмента от времени при заданной S и V полученные при помощи НС

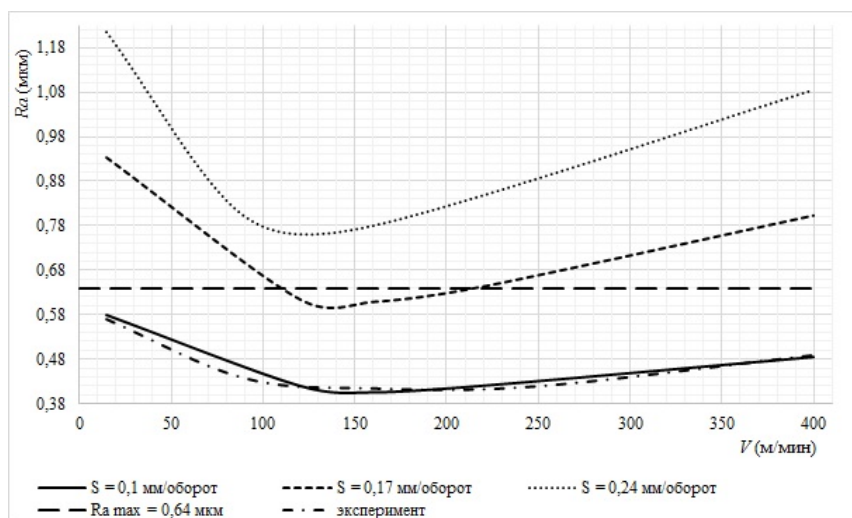


Рис. 3. График зависимости R_a обработанной поверхности от S и V полученный при помощи НС

інструмент – TP20 с радіусом носа 0,8 мм;
станок – Picosax 60-M.

Технічні дані для станка і інструмента взяті із відповідної технічної документації. Максимальне значення V обмежено значенням 400 м/мін, т.к. при більшій швидкості температура, що виникає в зоні різання, викликає необоротні зміни поверхневого шару деталі. Час ефективної експлуатації інструмента T_{ef} визначається, як час придатності інструмента (по досягненню граничного зносу) або по досягненню рівня максимальної допустимої себестоїмості операції.

Для пошуку Парето-оптимального рішення при комбінації всіх цільових функцій був застосований один із методів штучного інтелекту – Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm (FFGA) [19].

МЗО вирішувалась з урахуванням комбінації всіх 4-х цільових функцій при їх рівній значимості (ваг кожної функції рівні 1).

На рис. 4 показано рішення МЗО для випадку гострого інструмента.

В табл. 1 наведено рішення для випадку гострого інструмента ($h_z = 0$ мм) і інструмента з значущим зносом ($h_z = 0,2$ мм).

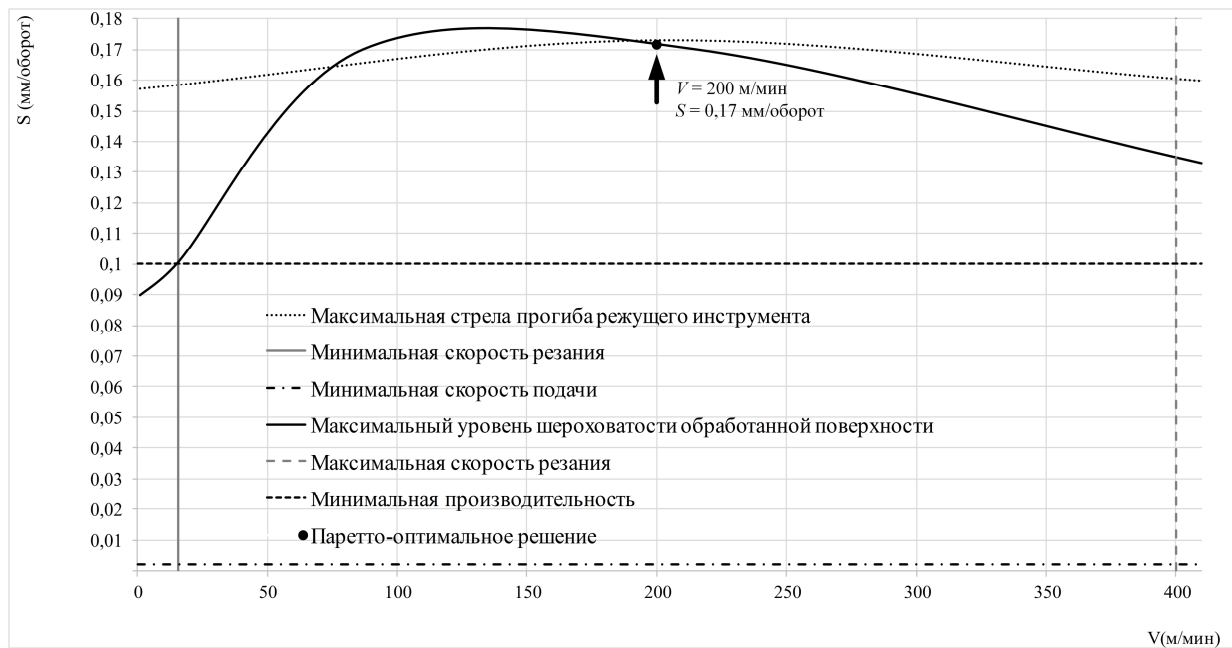


Рис. 4. Парето-оптимальне рішення МЗО параметрів операції чистового точення (для гострого інструмента)

Таблиця 1

Результати розрахунків (операція чистового точення)

Параметри інструмента	Себестоїмості операції A_z , грн	Енергозатрати E_z , кВт	Отклонение размерной точности Δ_{Σ} , мм	Производительность операции Q , мин^{-1}	Скорость подачи станка S , мм/мін	Скорость резания станка V , м/мін
Гострий інструмент $h_z=0$ мм	29,10	3,337	$2,178 \cdot 10^{-5}$	1,08	108,28	200
Інструмент з зносом $h_z=0,2$ мм	103,07	3,820	$2,322 \cdot 10^{-5}$	0,8	80	250

Вывод

В роботі для планування оптимальної завантаженості обладнання механообробляючого цеху запропонована система підтримки прийняття рішень, заснована на мультиагентному підході, що враховує особливості ТП різання. Визначені цільові функції коаліцій, що реалізують виробничий план і цільові функції агентів. Визначені методи рішення задач пошуку оптимальних рішень на всіх етапах виготовлення партій изде-

лій. Поставлена і вирішена багатокритеріальна задача параметричної оптимізації для процесів обробки різанням з урахуванням величини поточного накопичуваного зносу інструмента. Як цільової функції використана сума чотирьох складових: себестоїмості операції, енергозатрати, розмірна точність, продуктивність операції при наявності 10 технічних і технологічних обмежень. Приведено приклад визначення оптимального режиму обробки для операції чистового точення. В подальшому плануються роботи по

моделированию работы интеллектуальных агентов в условиях появления нестандартных ситуаций. Система в условиях имитационной модели производства изделий обеспечивает минимальное время изготовления партий изделий.

Список литературы

1. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / А.В. Богуслав, Ал.А. Олейник и др. Под ред. Д.В. Павленко, С.А. Субботина. – Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2009. – 468 с.
2. Моделирование технологических процессов лезвийной обработки методами искусственного интеллекта: монография / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина и др. – Харьков: НТМТ, 2009. – 224 с.
3. Denkena B., Battino A., Woelk P.-O. Intelligent software agents as a basis for collaborative manufacturing systems. *Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005*, – Elsevier – 2005. – p. 17-22.
4. M.S. Carrilero, F. Aguayo, J.R. Lama, J.E. Ares and M. Marcos, *Integracion de modelos Bionicos, Holonicos y Fractales para Fabricacion Distribuida, XVI Congreso Nacional de Ingenieria Mecanica, Leon (Spain), 2004*.
5. Teti R. Agent-based multiple supplier tool management system. *Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005*, – Elsevier – 2005. – p. 579-584.
6. P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg, editors. *Combinatorial Auctions*. MIT Press, 2006. – 1179 p.
7. Vorobeychik Y. A game theoretic bidding agent for the ad auction game // *Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2010*, – pp. 6-12.
8. Vokrinek J., Pavlicek D., Šmerák R. Simulation of manufacturing processes using multi-agent technology. *Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005*, – Elsevier – 2005. – p. 461-466.
9. Teti R. Agent-based multiple supplier tool management system. *Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005*, – Elsevier – 2005. – p. 579-584.
10. Vrba, P. *JAVA-Based Agent platforms evaluation, Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, LNAI 2744, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003, pp. 47-58*.
11. Khavina I. Multiagent system for the optimal control of a combination of transport robots in an manufacturing technological process // *International Conference Telecommunications and Computer Science, TCSET'2016, 23-26 February, 2016, Slavske in Lviv region, 5 p.*
12. Eckart Zitzler. *Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results* / E. Zitzler, K. Deb, L. Thiele // *Massachusetts Institute of Technology. Evolutionary Computation*. – 2000. – № 8(2). – P.p. 173–195.
13. Воронцов А. Л. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении / Воронцов А. Л., Албагачиев А. Ю., Султан-заде Н.М.; Старый Оскол : ТНТ, 2014. – 552 с.
14. Tugrul Ozel. Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning / T. Ozel, Tsu-Kong Hsu, Erol Zeren // *International journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2005. – №25. – pp. 262-269.
15. Яцерицын П. И. Теория резания / Яцерицын П. И., Фельдштейн Е. Э., Корниевич М.А.; Минск : Новое знание, 2006. – 512 с.
16. Fonseca C. M. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*. – 1998. – № 28. – P.p. 26–37.
17. Wenge Song. Development of predictive force models for classical orthogonal and oblique cutting and turning operations incorporating tool flank wear effects: PhD / *Queensland University of Technology, 2006*. – 208 p.
18. Paiva P. A multivariate hybrid approach applied to AISI 52100 hardened steel turning optimization // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2007. – №189. – 26-35 pp.
19. M. W. Azizi. Surface roughness and cutting forces modeling for optimization of machining condition in finish hard turning of AISI 52100 steel / M. W. Azizi, S. Belhadi, M. A. Yaltese // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2012. – Vol. 26, Issue 12. – p.p. 4105-4114.

Надійшла до редколегії 1.11.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ МЕХАНООБРОБНОГО ЦЕХУ

В.В. Лімаренко, І.П. Хавіна

В роботі для планування завантаження обладнання механообробного цеху запропонована система підтримки прийняття рішень, що заснована на мультиагентній системі, яка враховує особливості технологічного процесу лезової обробки, включаючи накопичений знос інструменту і в умовах імітаційної моделі виробництва забезпечує мінімальний час виготовлення партій виробів.

Ключові слова: планування завантаження обладнання, мультиагентна система, оптимізація параметрів технологічних процесів обробки різанням з урахуванням зносу інструменту, багатокритеріальна оптимізація, Парето-оптимальне рішення.

MULTI-AGENT SYSTEMS CONTROL THE OPERATION OF MACHINING SHOP

V.V. Lymarenko, I.P. Havin

In the planning for utilization of equipment machining workshop proposed decision support system based on multi-agent system that takes into account the process of processing blade, including lessons and tool wear in a simulation model of production ensures a minimum time of manufacturing of products batches.

Keywords: plan loading equipment, multi-agent system, the optimization of process parameters based machining tool wear, multi-objective optimization, Pareto-optimal solution.

УДК 629.429.3:621.313

О.М. Петренко¹, Б.Г. Любарський²¹Харківський університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ З АСИНХРОННИМИ ТЯГОВИМИ ДВИГУНАМИ НА ДІЛЯНЦІ КОЛІЇ З ВСТАНОВЛЕНИМ ГРАФІКОМ РУХУ ТА ПРОФІЛЕМ

В статті розроблено методику визначення оптимальних режимів руху трамвайного вагону Т-3ВПА з асинхронними тяговими двигунами для ділянки колії з заданим графіком руху на основі метода Гамільтона-Якобі-Беллмана. Визначення режимів роботи тягового приводу запропоновано проводити заздалегідь на підставі вирішення задачі умовної оптимізації його режимів.

Ключові слова: трамвайний вагон з асинхронним тяговим приводом, асинхронний тяговий двигун, оптимальні режими руху, метода Гамільтона-Якобі-Беллмана, ефективність тягового приводу.

Вступ

Оптимізація руху електрорухомого складу (ЕРС) на ділянці колії з заданим профілем та швидкісними обмеженнями є актуальною науково-технічною проблемою вирішення якої займаються багато провідних вчених в царині залізничного транспорту [1-5]. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є створення експертних систем ведення ЕРС, що дозволяють визначити режими роботи тягового приводу в залежності від знаходження ЕРС на ділянці колії, часу його руху та швидкості.

Аналіз останніх досліджень. У роботах [5 – 10] автори стверджують, що хоча задачі у безперервній часовій області можуть бути вирішені за допомогою традиційних методів, таких як метод Лагранжа і нелінійного програмування, але якщо проблеми сформульовані в дискретній формі шляхом ділення часу (чи відстані) на кінцеве число інтервалів, моделі реального часу (чи простору) можливо використати в якості експертної системи управління рухом ЕРС. Для даного завдання, часова область розділена на кінцеве число інтервалів часу.

Загальною проблемою стохастичного управління є складність рішення і експоненціальна залежність зростання потреби у кількості пам'яті і обчислювального часу. Причина в тому, що стан об'єкту дослідження має бути представлений у вигляді дискретної області координат, що і призводить до експоненціального зростання кількості розрахункових точок, що вимагає експоненціально наростаючу кількість обчислень [6]. В цьому випадку рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана, а конкретніше – «зворотний підхід Беллмана», дозволяє отримати рішення при прийнятній кількості обчислень. «Зворотний підхід Беллмана» є методом, який вирішує дискретне перетворення систем реального часу [8]. Оскільки вирішувана задача у сво-

їй основі представляє завдання оптимального управління у безперервній часовій області, необхідно представити формулювання загальної задачі оптимального управління в реальному часі. В роботі [9] розроблена математична модель системи управління електрорухомим складом, заснована на рішенні рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана з використанням методу динамічного програмування і зворотного рішення задачі відносно координати часу. На основі цієї моделі в роботі [10] розроблена методика ідентифікації режимів роботи напівпровідникового перетворювача для живлення тягового асинхронного двигуна (АТД).

Мета статті: розробити методику визначення оптимальних режимів руху трамвайного вагону Т-3ВПА для ділянки колії з заданим графіком руху.

Результати досліджень

Ефективність тягового приводу можливо навести у вигляді виразів:

$$\eta_1 = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 1; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ F_d \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v < v_{max}; \\ F_d > 0; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 2; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v < v_{max}; \\ F_d > 0; \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 3; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v < v_{max}; \\ F_d < 0; \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} U_{op} = 5; \\ \eta_1 \rightarrow \max, \\ F_d \rightarrow \min, \\ |F_d| < |F'_k|, \\ v < v_{max}; \\ F_d < 0, \end{array} \right. \end{cases} \quad (1)$$

де η_1 – ККД ланки автономний інвертор напруги АТД – автономний інвертор напруги (АІН), U_{op} –

режим роботи тягового приводу ЕРС, F_d – сила тяги або гальмування, яку створює ЕРС, F'_k – сила обмеження за зчепленням контакту колесо-рейка, v – швидкість рухомого складу, v_{max} – конструктивна швидкість руху. $U_{OP} = 4$ – режим вибігу – холостого ходу, тому він не розглядається при визначенні ефективності приводу.

Визначення ККД ланки АТД – АН проводиться на основі підходів запропонованих у роботах [1, 11 – 13] що включають в себе наступне: для вирішення задачі визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу необхідно вирішити чотири задачі умовної оптимізації параметрів роботи тягового приводу (в режимах розгону $U_{OP} = 1$, режим рекуперативного гальмування $U_{OP} = 5$, режим підтримання заданої швидкості руху $U_{OP} = 2,3$). Для кожний з цих задач необхідно розглянути два режиму: застосування однократної або просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Режим розгону та режим рекуперативного гальмування схожі між собою. Застосуємо метод векторних цільових функцій запропонований в роботі [14]. У якості цільової функції для режиму розгону оберемо векторну функцію з наступними параметрами:

$$F_{c1} = \begin{bmatrix} 1 - \eta_l \rightarrow \min, \\ -F_d \rightarrow \min, \end{bmatrix} \quad (2)$$

Перший компонент обрано таким чином, що при його мінімізації приходить максимізація ККД тягового приводу.

Для режиму рекуперативного гальмування векторна цільова функція має вигляд:

$$F_{c5} = \begin{bmatrix} 1 - \eta_l \rightarrow \min, \\ F_d \rightarrow \min, \end{bmatrix} \quad (3)$$

Для режиму підтримання заданої швидкості руху у якості цільової функції оберемо:

$$F_{c3} = F_{c4} = 1 - \eta_l \rightarrow \min \quad (4)$$

Таким чином було обрано цільові функції для визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу, які дозволяють визначити оптимальні режими тягового приводу при застосуванні різних режимів ШІМ.

У якості методу оптимізації прийнятий комбінований генетичного алгоритму: глобальний пошук здійснюється генетичним алгоритмом з одноточечним кросовером і селекцією за принципом рулетки. На завершальному етапі роботи оптимізаційної про-

цедури уточнення оптимуму здійснюється методом Нелдера - Міда за [1, 11 14]

На рис. 1 наведені оптимальні тягові характеристики трамваю Татра Т3 ВПА в робочих режимах. При застосуванні однократної ШІМ у режимі тяги та гальмування з'являється зона в якій неможлива робота тягового приводу (0...620 об/хв), що зумовлена неможливістю зниження напруги двигуна, а як слід, ростом фазного струму при малих частотах обертання.

У роботі [9, 10] описане загальне формулювання оптимального управління в реальному часі таким чином.

Програмно-орієнтована модель руху ЕРС.

Розглянемо представлення рівняння руху потягу в програмно-орієнтованому виді, що дозволить її використати для визначення оптимальних законів управління згідно з методом Гамільтона-Якобі-Беллмана. У цій роботі сили і опори розраховуються таким чином:

Сила прискорення F_A (для одного часового кроку):

$$F_A = m \frac{v(t) - v(t - tstep)}{tstep}, \quad (5)$$

де m – маса потягу, доданок

$$a = \frac{v(t) - v(t - tstep)}{tstep}, \quad (6)$$

де a – еквівалентне постійне прискорення, якому піддається потяг при різниці швидкостей

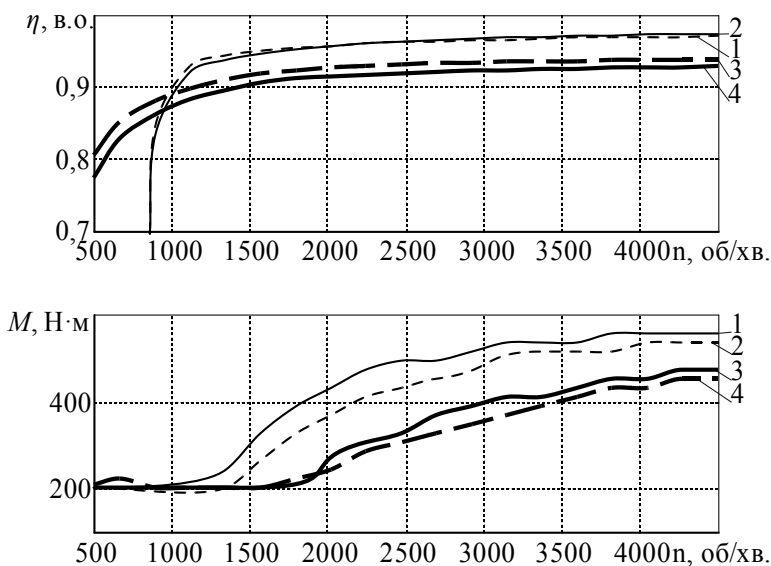


Рис. 1. Оптимальні залежності ККД та електромагнітного моменту тягового приводу трамваю в режимі $U_{OP} = 3$: 1 – при застосуванні однократної ШІМ та при температурі двигуна 40 °С, 2– при застосуванні однократної ШІМ та при температурі двигуна 180 °С, 3– при застосуванні просторово-векторної ШІМ та при температурі двигуна 40 °С, 4– при застосуванні просторово-векторної ШІМ та при температурі двигуна 180 °С

$v(t) - v(t - tstep)$ за один часовий крок, обумовлене допущенням, що для кожного часового кроку прискорення постійне, а швидкість лінійно залежить від часу для кожного часового кроку.

Основний опір коченню F_{rr} (для одного часового кроку). Оскільки швидкість лінійно залежить від часу для кожного переходу (часового кроку), опір коченню для кожного часового кроку може бути вичислений відповідно до середньої швидкості кроку, яка дорівнює:

$$v_{avg} = \frac{v(t) + v(t - tstep)}{2}. \quad (7)$$

Таким чином, основний опір руху для кожного часового кроку буде:

$$F_{rr} = a_{rr} + b v_{avg} + c v_{avg}^2. \quad (8)$$

де a_{rr}, b, c – коефіцієнти які для трамвайного вагону Т-3 ВПА масі з повною загрузкою, що становить 30000 кг, мають наступні значення 1500 Н, 0 Н с/м, та 1,5 Н с²/м відповідно.

В результаті сила, потрібна для переміщення ЕРС на $tstep$:

$$F_{tot} = (1 + \gamma)F_A + F_{rr} + F_s + F_{rk}. \quad (9)$$

де F_s, F_{rk} – сили опору від уклонів та кривих що визначаються такими співвідношеннями:

$$F_{rs} = m g \frac{i}{1000}, \quad (10)$$

$$F_{rk} = \frac{c_{r0}}{R - c_{r1}} m, \quad (11)$$

де c_{r0}, c_{r1} – постійні відомі коефіцієнти, що визначаються за [15]; R – радіус кривої, i – ухил, g – прискорення вільного падіння.

Необхідна енергія для руху потягу на $tstep$ з урахуванням обмежень та допущення про те, що швидкість міняється лінійно з часом на основі [15] визначається:

$$\left\{ \begin{array}{l} E = \sum_{t=tstep}^T \frac{\text{sign}}{(\eta_1)^{\text{sign}}} \left(\begin{array}{l} (1 + \gamma)F_A + a_{rr} + \\ + b \cdot v_{avg} + c \cdot v_{avg}^2 + \\ + \frac{c_{r0}}{R - c_{r1}} \cdot m + mg \frac{i}{1000} \end{array} \right) \times \\ \times \frac{v(t) + v(t - tstep)}{2} \cdot tstep; \\ \left\{ \begin{array}{l} (1 + \gamma)F_A + a_{rr} + b \cdot v_{avg} + c \cdot v_{avg}^2 + \\ + \frac{c_{r0}}{R - c_{r1}} \cdot m + mg \frac{i}{1000} \end{array} \right\} \leq \\ \leq 9,81 k_s m \cdot 1000, \end{array} \right. \quad (12)$$

де k_s – коефіцієнт зчеплення, що для трамваю становить 0,16, v_{avg} – середня швидкість руху на кроку.

Для часового кроку переходу зі стану $n - 1$ до стану n , з рівняння рівноприскореного руху, пройдена відстань може бути отримана таким чином:

$$\Delta x_n = v_{n-1} \Delta t_n + \frac{1}{2} a_n \Delta t_n^2,$$

$$\Delta x_n = v_{n-1} \cdot \Delta t_n + \frac{1}{2} \frac{v_n - v_{n-1}}{\Delta t_n} \Delta t_n^2 \Rightarrow$$

$$\Delta x_n = v_{n-1} \Delta t_n + \frac{1}{2} v_n \Delta t_n - \frac{1}{2} v_{n-1} \Delta t_n \Rightarrow (13)$$

$$\Delta x_n = \frac{1}{2} (v_{n-1} + v_n) \Delta t_n \Rightarrow$$

$$x_n - x_{n-1} = \frac{1}{2} (v_{n-1} + v_n) \Delta t_n \Rightarrow$$

$$x_n = x_{n-1} + \frac{1}{2} (v_{n-1} + v_n) \Delta t_n.$$

де x_n, v_n, a_n – положення потягу, його швидкість та прискорення на n кроці.

Для 1 часового кроку маємо

$$x_t = x_{t-tstep} + \frac{1}{2} (v_{t-tstep} + v_t) tstep, \quad (14)$$

де x_t – кінцеве положення потягу для одного $tstep$; $x_{t-tstep}$ – початкове положення потягу для одного $tstep$;

Вираз (14), дає кінцеве положення потягу для переходу, коли відомі початкове положення, початкова і кінцева швидкість, а також значення часового кроку.

Вирішення задачі оптимізації режимів руху проводилось для ділянки колії від трамвайного депо «Салтівське» до розворотного коло (602 мр/н, м. Харків) та в зворотному напрямці параметри якої наведені в табл. 1.

Результати вирішення тягової задачі при руху трамваю в оптимальному режимі наведені на рис. 2.

При русі трамвайного вагону на ділянці колії було визначено наступне.

Витрати енергії встановили 18,56 кВт·год, час руху встановив 1098 с, що відповідає середній швидкості руху 40,1 км/год при заданій середній швидкості 40 км/год.

Сила тяги має пульсуючий характер який необхідне для підтримання заданої швидкості руху.

Висновки

1. Розроблено методику визначення оптимальних режимів руху трамвайного вагону Т-3ВПА з асинхронними тяговим двигунами для ділянки колії с заданим графіком руху на основі метода Гамільтона-Якобі-Беллмана. Визначення режимів роботи тягового приводу запропоновано проводити задалегідь на підставі вирішення задачі умовної оптимізації його режимів.

Таблиця 1

Параметри ділянки колії від трамвайного депо «Салтівське» до розворотного кола
(602 мр/н, м. Харків)

Номер ділянки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Довжина ділянки, м	70	216	386	460	520	735	590	90	60	70
Ухил, ‰	0	-15	32	-27	22	-17	-62	-33	14	32
Радіус кривій, м	60	0	0	0	0	0	0	110	170	230
Максимальна швидкість, км/год	10	60	60	40	60	60	60	50	60	60

Номер ділянки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Довжина ділянки, м	317	100	320	770	30	50	40	650	546	90
Ухил, ‰	25	22	12	19	0	0	0	14	0	0
Радіус кривій, м	0	600	0	0	30	0	35	0	0	0
Максимальна швидкість, км/год	60	60	60	60	40	60	40	60	60	60

Номер ділянки	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Довжина ділянки, м	120	100	120	90	546	650	40	50	30	770
Ухил, ‰	0	0	0	0	0	-14	0	0	0	-19
Радіус кривій, м	70	30	70	0	0	0	35	0	30	0
Максимальна швидкість, км/год	60	40	60	60	60	60	40	60	40	60

Номер ділянки	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Довжина ділянки, м	320	100	317	70	60	90	590	735	520	460	386	216
Ухил, ‰	-12	-22	-25	-32	-14	33	62	17	-22	27	-32	15
Радіус кривій, м	0	600	0	230	170	110	0	0	0	0	0	0
Максимальна швидкість, км/год	60	60	60	60	60	50	60	60	60	40	60	60

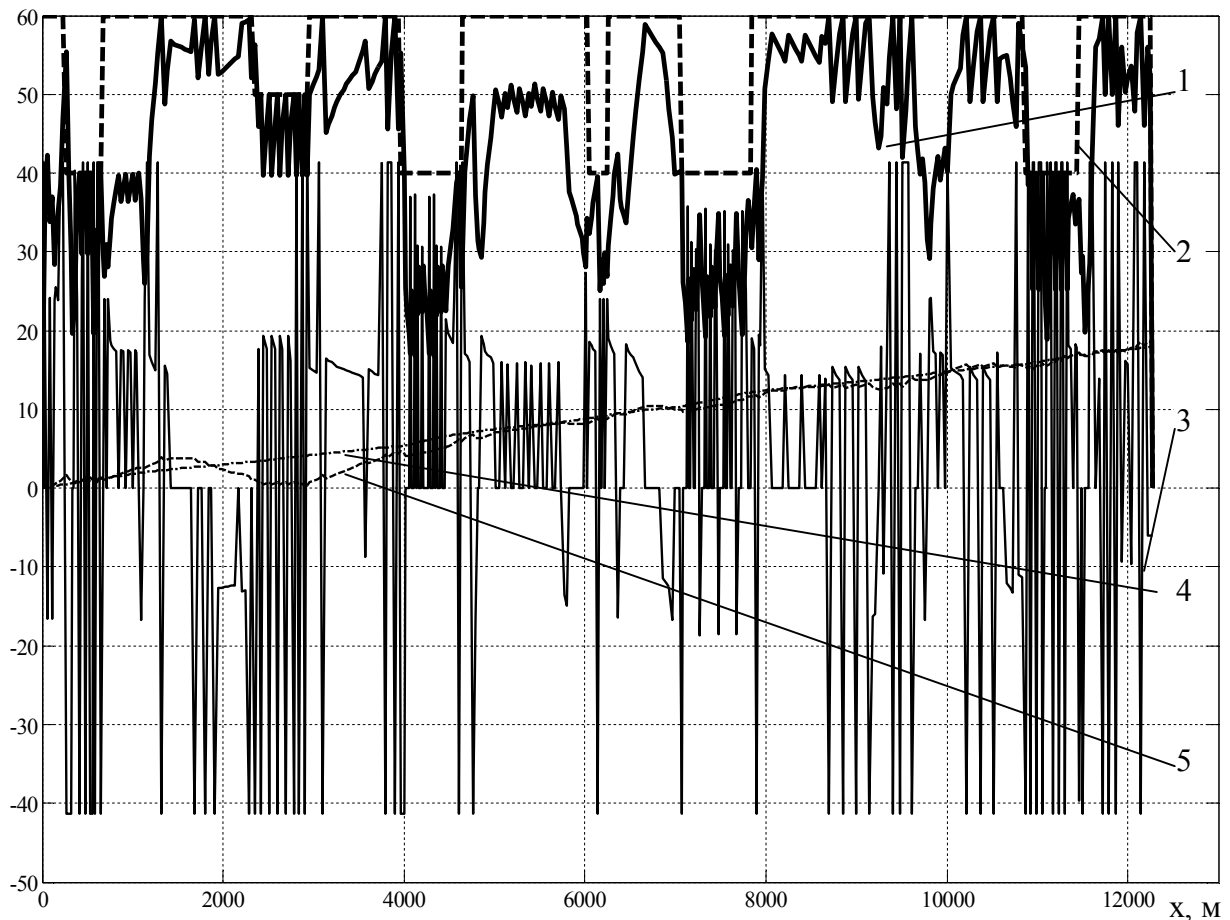


Рис. 2. Результати вирішення тягової задачі при русі трамвайного вагона Т-3ВПА з тяговим двигуном АД931 на ділянках колії від трамвайного депо «Салтівське» до розворотного кола (602 мр/н, м.) та в зворотному напрямці параметри. 1 – швидкість руху (v), км/год; 2 – обмеження швидкості, км/год; 3 – сила тяги, (F_{ГТ}) кН; 4 – час руху (t), хв, 5 – витрати енергії (E), кВт·год

2. Для визначення оптимальних режимів роботи тягового приводу було обрано комбінований метод: глобальний пошук здійснюється генетичним алгоритмом з односточним кросовером і селекцією за принципом рулетки. На завершальному етапі роботи оптимізаційної процедури уточнення оптимуму здійснюється методом Нелдера - Міда.

3. Було проведено оптимізацію режимів роботи тягових приводів трамвая Татра ТЗВПА у всьому діапазоні частот обертання АТД. Встановлені залежності переходу тягового приводу з режиму просторово-векторної до однократної ШІМ в залежності від температури обмоток.

4. При русі трамвайного вагону на ділянці колії було визначено наступне: Витрати енергії встановили 18,56 кВт·год, час руху встановив 1098 с, що відповідає середній швидкості руху 40,1 км/год при заданій середній швидкості 40 км/год. Сила тяги має пульсуючий характер який необхідне для підтримання заданої швидкості руху.

Список літератури

1. Любарський Б.Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09. - «Електротранспорт». Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, - 2014. – 368 с.

2. Гетьман Г.К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта [Текст] : монография / Г.К. Гетьман. – Д.: Изд. Днепр. нац. ун-та ж/д трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2008. – 444 с.

3. Моделирование та оптимізація руху багатомасових електричних транспортних засобів поверхнями зі складним рельєфом : монографія / О.Б. Мокін, Б.І. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 192 с.

4. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. – Х.: Изд. центр "НТМТ", 2013. – 248 с.

5. Петренко О.М. Визначення ефективності електрорухомого складу. Основні положення та підходи /

О.М. Петренко, Б.Г. Любарський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 6. – С. 8-13

6. Todorov, Emanuel. "Optimal control theory." *Bayesian brain: probabilistic approaches to neural coding* (2006): 269-298.

7. Kappen, Hilbert J. "Optimal control theory and the linear bellman equation." *Inference and Learning in Dynamic Models* (2011): 363-387.

8. Kanemoto, Yoshitsugu (1980) Appendix IV: Optimal Control Theory. In: Kanemoto, Yoshitsugu. *Theories of urban externalities*. Vol. 6. North-Holland, p. 189.

9. Петренко О. М. Алгоритм синтезу експертної системи управління рухом електрорухомого складу на основі рішення рівняння Гамільтона-Якобі-Беллмана / О.М. Петренко, Б.Г. Любарський, М.Л. Глєбова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 6 (1178). – С. 89-95.

10. Петренко О.М. Математична модель оптимального керування рухом електрорухомого складу на підставі вирішення рівнянь Гамільтона-Якобі-Беллмана / О.М. Петренко, Б.Г. Любарський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. № 2 – С. 19-24.

11. Петренко О.М. Методика оптимізації режимів роботи асинхронного тягового приводу рухомого складу / О.М. Петренко, І.В. Доманський, Б.Г. Любарський // Механіка та машинобудування. – 2016.– №1. – С. 59-67.

12. Рябов Е. С. Анализ потерь в тяговом асинхронном двигателе при различных режимах питания / Е.С. Рябов, А.Н. Петренко, Л.В. Оверьянова // Евразийский совет ученых – 2016.– № 12(33). Ч. 2. – С. 59-65.

13. Любарский Б.Г. Оптимизация режимов работы тягового асинхронного привода / Б.Г. Любарский // Электрика. Курск. – 2014. – № 6. – С. 5-10.

14. Северин В.П., Никулина Е.Н. Методы одномерного поиска. – Х. : НТУ ХПИ, 2013. – 124 с.

15. Panagiotis Gkortzas Study on optimal trainmovement for minimum energy consumption School of Innovation, Design and Engineering. – 82 p.

Надійшла до редколегії 18.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Т. Доманський, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ С АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ НА УЧАСТКЕ ПУТИ С УСТАНОВЛЕННОЙ ГРАФИКОМ ДВИЖЕНИЯ И ПРОФИЛЕМ

А.Н. Петренко, Б.Г. Любарский

В статье разработана методика определения оптимальных режимов движения трамвайного вагона Т-ЗВПА с асинхронными тяговыми двигателями для участка пути с заданным графиком движения на основе метода Гамильтона-Якоби-Беллмана. Определение режимов работы тягового привода предложено проводить заранее на основании решения задачи условной оптимизации его режимов.

Ключевые слова: трамвайный вагон с асинхронным тяговым приводом, асинхронный тяговый двигатель, оптимальные режимы движения, метода Гамильтона-Якоби-Беллмана, эффективность тягового привода.

OPTIMIZATION DRIVING MODES TRAMCARS WITH ASYNCHRONOUS TRACTION MOTORS FOR SECTIONS WITH THE ESTABLISHED TIMETABLE AND PROFILES

O.M. Petrenko, B.G. Liubarskyi

The paper developed a method of determining the optimal modes of motion of the tram car T-3VPA with asynchronous traction motors for the road section with the set timetable on the basis of the Hamilton-Jacobi-Bellman equation. Defining modes of traction drive proposed to carry out in advance on the basis of the decision of its constrained optimization problem modes.

Keywords: tram car with induction motor drive, asynchronous traction motor, optimal modes of motion, of the Hamilton-Jacobi-Bellman equation, the traction drive efficiency.

УДК 621.311

А.М. Сільвестров, О.М. Скринник, Л.Ю. Спінул

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ

ОЦІНЮВАННЯ СТАТИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

В статті розглянуто застосування методу ідентифікації нелінійних статичних залежностей в нелінійних динамічних об'єктах з метою оптимізації режимів їх функціонування. Метод побудови містить в собі визначення непараметричної моделі статичної нелінійності з довільної динаміки об'єкта. Наведено приклад використання запропонованого метода.

Ключові слова: динамічна система, модель Хаммерстайна, статична нелінійність, непараметрична модель, аналітична модель.

Вступ

Динаміка збуреного руху об'єкта описується нелінійною динамічною моделлю. У такій ситуації основною похибкою оцінок параметрів лінійної складової моделі є їх зміщення внаслідок наближеності лінійної моделі, яка не враховує нелінійність характеристик об'єкта. Далі, пропонується представити об'єкт моделлю Хаммерстайна [1] і, користуючись природною гладкістю нелінійності і критерієм гладкості Пухова-Хатіашвілі [2], коректно оцінити спочатку нелінійність, а потім і лінійну складову моделі.

Модель Хаммерстайна (рис. 1) описує по входу (U) — виходу (Y) реальну систему, яка включає лінійний динамічний оператор $\frac{\gamma(p)}{\beta(p)}$, $p = \frac{d}{dt}$ і статичний нелінійний $f(u)$ або $f(z)$ (рис. 1).

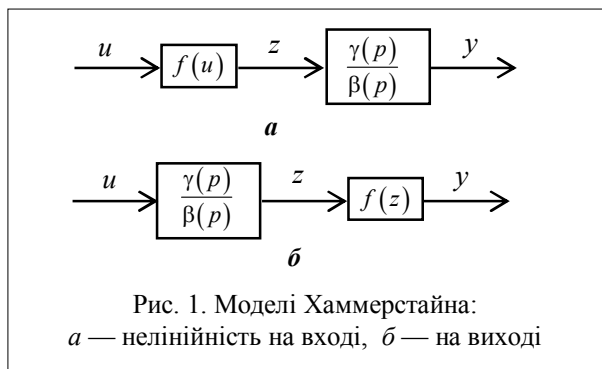


Рис. 1. Моделі Хаммерстайна: а — нелінійність на вході, б — на виході

Якщо статичну нелінійну залежність $f(u)$ розкласти по системі лінійно-незалежних функцій $\varphi_k(u)$,

$$f(u) = \sum_{k=1}^r l_k \varphi_k(u), \quad (1)$$

то, залежно від розташування нелінійності (рис. 1), отримаємо для варіанта моделі: нелінійність на вході (рис. 1, а):

$$\beta(p)y(t) = \sum_{i=1}^m \gamma_i p^i \left(\sum_{k=0}^r \alpha_k \varphi_k(u) \right); \quad (2)$$

нелінійність на виході (рис. 1, б):

$$\sum_{i=0}^n \beta_i p^i \left(\sum_{k=0}^r \alpha_k \varphi_k(y(t)) \right) = \gamma(p)u(t), \quad (3)$$

де $\beta(p) = \beta_n p^n + \dots + \beta_1 p + 1$,

$$\gamma(p) = \gamma_m p^m + \dots + \gamma_1 p + \gamma_0.$$

За традиційного підходу в задачі ідентифікації визначається $n + m + r + 2$ параметрів $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$. Це суттєво ускладнює розв'язок задачі оцінювання і не гарантує якісного результату. Тому, враховуючи обмеженість полоси спектру сигналів і допускаючи похибку Δ апроксимації динамічної складової рівнянням пониженого порядку, отримуємо спрощені моделі Хаммерстайна (2, 3) з пониженим порядком n і m поліномів $\beta(p), \gamma(p)$.

Окрім того модель (рис. 1, б) приводиться до моделі (рис. 1, а), якщо замість прямої визначити зворотну залежність $f^{-1}(z)$ і $\frac{\beta(p)}{\gamma(p)}$. В запропонованому методі, який враховує природну гладкість f чи f^{-1} , невідома статична нелінійність (її непараметрична оцінка) знаходиться шляхом підбору параметрів зворотної передаточної функції спрощеної динамічної складової з умови мінімуму середнього квадрата похідної r -го порядку від виходу нелінійності до її входу. Якщо $r = 1$, то має місце наближення за гладкістю, $r = 2$ — наближення за кривизною і т.д.

Основна частина

Розглянемо визначення статичної нелінійності з довільної динаміки системи, якщо $r = 2$.

Динаміка нелінійної динамічної системи:

$$\sum_{k=0}^n a_{n-k} \frac{d^{n-k} y(t)}{dt^{n-k}} = f[x(t)], \quad (4)$$

де $f[x(t)]$ – статична нелінійність, $x(t)$ – вхідний сигнал, $y(t)$ – вихідний сигнал.

Задача полягає у тому, щоб за зашумленими значеннями виходу $\hat{y}(t_k)$ відновити (оцінити) статичну нелінійність $f(x)$.

З метою визначення непараметричної моделі $\hat{f}[x(t)]$ статичної нелінійності $f[x(t)]$ визначимо скомпенсований вихід об'єкта у вигляді:

$$y_{\text{ск}}(t) = \hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2}, \quad (5)$$

де параметри β_1, β_2 спрощеного компенсатора динаміки визначаються за умови гладкості, тобто за умови мінімуму середнього квадрату r -ї похідної від $\hat{y}(t)$ по x :

$$(\beta_1, \beta_2) = \arg \min \sum_{k=1}^N \left(\frac{d^r y_{\text{ск}}(t_k)}{dx^r} \right)^2. \quad (6)$$

Задача вирішується наступним чином. Виконується згладжування зашумлених вхідної та вихідної послідовностей вимірювань, впорядкується значення вхідної змінної $x(t_k)$ за зростанням.

Далі, для визначення значень t_j , які відповідають значенням вхідної змінної, що змінюються зі сталим кроком, виконаємо інтерполювання одержаної послідовності за допомогою інтерполяційних сплайнів.

Замість похідних (6) по x використовуються скінчені різниці:

$$\Delta^r y_{\text{ск}} = \Delta^r \left[\hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2} \right]. \quad (7)$$

Зокрема, для $r = 2$ маємо:

$$\Delta^2 y_{\text{ск}} = [y_{\text{ск}}(t_{k+2}) - 2y_{\text{ск}}(t_{k+1}) + y_{\text{ск}}(t_k)] / (\Delta x)^2. \quad (8)$$

Мінімізація функціоналу (7) гладкості полягає у розв'язанні відносно β_1, β_2 системи нормальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N [\Delta^r \hat{y}(t_k) - \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} \beta_1 - \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} \beta_2] \times \\ \times \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} = 0; \\ \sum_{k=1}^N \left[\sum_{k=1}^N [\Delta^r \hat{y}(t_k) - \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} \beta_1 - \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} \beta_2] \times \right. \\ \left. \times \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} = 0. \right. \end{aligned} \quad (9)$$

По визначенню параметрів β_1, β_2 отримаємо непараметричне значення гладкої статичної нелінійності:

$$f[x(t)] = \hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2}. \quad (10)$$

Тестовий приклад визначення нелінійності електроприводу.

Система автоматизованого електроприводу має нелінійну залежність швидкості Ω обертання вихідного валу від напруги $U_{\text{я}}$:

$$a_2 \frac{d^2\Omega(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\Omega(t)}{dt} + \Omega(t) = f[U_{\text{я}}(t)], \quad (11)$$

де $U_{\text{я}}$ задано послідовністю сходинок в межах від $-U_{\text{я max}}$ до $+U_{\text{я max}}$:

$$U_{\text{я}}(t) = U_{\text{max}} \left[-1 + \frac{1}{q/2} \sum_{k=1}^q 1(-k\Delta t) \right],$$

де $q = 16$; $1(t) = \begin{cases} 1, & t > k\Delta t, \\ 0, & t < k\Delta t. \end{cases}$

Числові значення параметрів a_1, a_2 невідомі. Параметри тестуючого впливу дорівнюють $U_{\text{max}} = 120 \text{ В}$, $\Delta t = 1 \text{ с}$. Початкові умови: $\Omega(0) = -\Omega_{\text{max}} = -300 \text{ рад/с}$, $d\Omega(0)/dt = 0$. «Невідоме» значення нелінійної залежності

$$\Omega[U_{\text{я}}(t)] = 3[U_{\text{я}}(t)] - 60 \sin(0,065[U_{\text{я}}(t)]) \quad (12)$$

відповідає умові гладкості із зонами нечутливості та насичення (рис. 2). Вимірювання вихідного сигналу приводу здійснюються з кроком $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ для $N = 200$, $q = 16$ з 10% похибкою вимірювань у вигляді «білого шуму». Алгоритм рівняння:

1. Згладжування $U_{\text{я}}(t_k)$ та \hat{y}_k , $k = \overline{1, N}$.
2. Упорядкування значень $U_{\text{я}}(t_k)$ у порядку їхнього зростання.
3. Інтерполяція цих значень за допомогою інтерполяційних сплайнів.
4. Визначення значень t_{k_j} , що відповідають змінюванню $U_{\text{я}}(t_k)$ зі сталим кроком ΔU .
5. Обчислення значень $\hat{y}(t_{k_j})$, а також похідних першого та другого порядку від цих значень (кінцевих різниць).

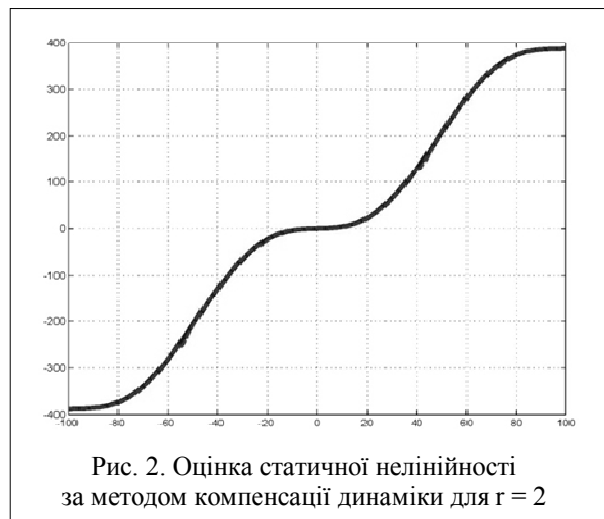


Рис. 2. Оцінка статичної нелінійності за методом компенсації динаміки для $r = 2$

6. Мінімізація функціоналу (8) шляхом складання та розв'язання системи рівнянь (9) методом найменших квадратів.

У результаті для (11) отримуємо оцінки

$$a_1 = 0,0196, \quad a_2 = 0,000134.$$

Непараметрична оцінка шуканої нелінійності

$$f[U_{\text{я}}(t)] = y(t) - 0,0196 \frac{dy(t)}{dt} - 0,000134 \frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

за умови дії завади у вигляді 10 % «білого шуму» практично співпала з істинною залежністю (12) з похибкою менше 0,5 %.

Для підтвердження ефективності такого підходу цю ж задачу розв'яжемо за допомогою пакета МатЛАБ System Identification Toolbox. Засобами пакету теж можна оцінювати нелінійні моделі Хаммерстайна-Вінера.

Проводимо попередню обробку експериментальних даних (фільтрацію в обраному діапазоні) командами розділу Preprocess (рис. 3).

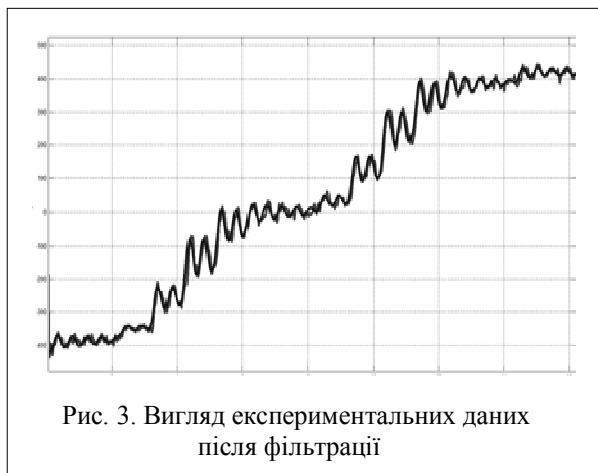


Рис. 3. Вигляд експериментальних даних після фільтрації

Вибираємо структуру моделі для ідентифікації Nonlinear Hammerstein-Wiener Models з нелінійністю на вході.

У відповідних діалогових вікнах задаємо параметри динамічної частини моделі (порядок моделі, кількість полюсів і нулів, наявність затримки, і ін.). Вибираємо тип нелінійної функції. Запитуємо моде-

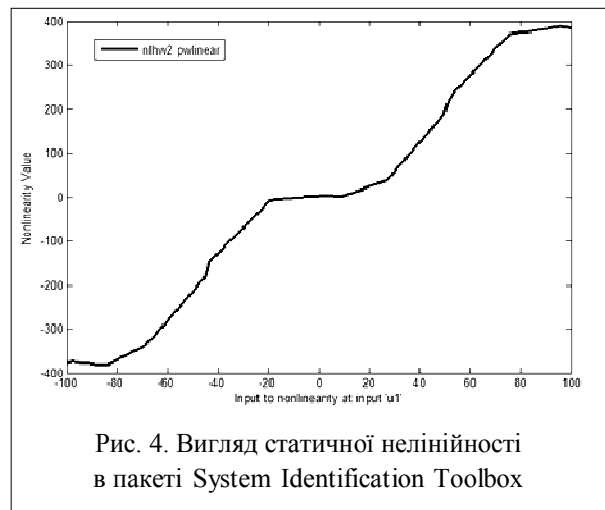


Рис. 4. Вигляд статичної нелінійності в пакеті System Identification Toolbox

лі, з різним числом полюсів і нулів, і вибираємо з них модель з найбільшою вірогідністю.

Однак, навіть за умови апріорі відомої інформації про вигляд нелінійності (що на практиці не завжди можливо) найкраще підібрана модель з 86 % достовірністю має на порядок більшу похибку (7 %) статичної нелінійності (рис. 4).

Висновок

Таким чином, критерій наближення Пухова-Хатіашвілі разом із спрощеною компенсацією динамічної складової моделі Хаммерстайна дає можливість, навіть за невідомої структури нелінійності і наявності у вимірах шуму, отримати її досить точну непараметричну модель.

Список літератури

1. Льюнг Л. Идентификация систем / Пер с англ. под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
2. Пухов Г.Е. Модели технологических процесов / Г. Е. Пухов, Ц. Хатиашвили. — К. : Техніка, 1974. — 200 с.

Надійшла до редколегії 2.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.І. Бідюк, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ.

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А.Н. Сильвестров, А.Н. Скрынник, Л.Ю. Спинул

В статье рассмотрено применение метода идентификации нелинейных статических зависимостей в нелинейных динамических объектах с целью оптимизации режимов их функционирования. Метод построения включает определение непараметрической модели статической нелинейности с произвольной динамики объекта. Приведен пример использования предложенного метода.

Ключевые слова: динамическая система, модель Хаммерстайна, статическая нелинейность, непараметрическая модель, аналитическая модель.

ESTIMATION OF STATIC NONLINEAR COMPONENT OF DYNAMIC SYSTEM

A.M. Silvestrov, O.M. Skrynnyk, L.Yu. Spinul

An application of the method of identification of nonlinear static dependencies into nonlinear dynamic object for optimization of their operation is considered. A definition of nonparametric model of the static nonlinearity from an arbitrary dynamics of object is in this method of construction. The example of using of the proposed method is described.

Keywords: dynamic system, Hammerstein model, nonlinearity, nonparametric model, analytical model.

Математичні моделі та методи

УДК 510.635

Н.В. Голян

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

О СВОЙСТВАХ КАНОНИЧЕСКОЙ АЛГЕБРЫ ПОНЯТИЙ

В работе проанализированы множества элементов канонической алгебры понятий. Показано, что алгебра большей размерности является расширением алгебры меньшей размерности. Введены правила построения формул алгебр понятий и показано, что язык формул алгебры понятий любой размерности полон. Доказана теорема о существовании и единственности стандартной формы алгебры понятий.

Ключевые слова: алгебра конечных предикатов, алгебра понятий, каноническая алгебра, стандартная форма.

Введение

Работа является логическим продолжением статьи [1], в которой аксиоматически построена алгебра понятий - алгебраическая система, элементы множества-носителя которой интерпретируются как понятия интеллекта, а ее операции над этими элементами - как действия интеллекта над понятиями.

В настоящей статье проанализированы множества элементов канонической алгебры понятий. Показано, что алгебра большей размерности является просто расширением алгебры меньшей размерности. Иначе говоря, алгебра меньшей размерности является подалгеброй алгебры большей размерности. Введены правила построения формул алгебр понятий и показано, что язык формул алгебры понятий любой размерности полон.

Доказана теорема о существовании и единственности стандартной формы алгебры понятий.

1. Универсальная каноническая алгебра понятий

При доказательстве теоремы о существовании алгебр понятий нам пришлось построить ряд конкретных алгебр понятий L_1, L_2, \dots . Эти алгебры будем называть каноническими алгебрами понятий. Носителем канонической алгебры понятий L_n служит множество S_n , образованное из всевозможных символов вида $0, e_1, e_2, \dots, e_n$, а также из всевозможных символов вида $e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}$, где

$$e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p} \in \{e_1, e_2, \dots, e_n\},$$

$$i_1 < i_2 < \dots < i_p, \quad 2 \leq p \leq n.$$

Каждый такой символ представляет собой последовательность, составленную из двух или более (не обязательно всех) символов, называемых базисны-

ми, которые расположены в порядке возрастания их номеров. Любой из базисных символов может войти в последовательность $e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}$ не более одного раза. Например, множество S_1 состоит из двух символов 0 и e_1 , множество S_2 - из четырех символов $0, e_1, e_2, e_1e_2$ множество S_2 - из восьми символов $0, e_1, e_2, e_1e_2, e_3, e_1e_3, e_2e_3, e_1e_2e_3$. Множество S_n состоит из 2^n символов.

В канонической алгебре понятий L_n операция дизъюнкции определена следующим образом. Для любого элемента x с нулем дает в результате элемент x . Например, $0 \vee e_1e_2 = e_1e_2$, $e_2e_3e_4 \vee 0 = e_2e_3e_4$. Логическая сумма $z = x \vee y$ любых ненулевых элементов $x = e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}$ и $y = e_{j_1}, e_{j_2}, \dots, e_{j_r}$ формируется по следующему правилу: $z = e_{k_1}, e_{k_2}, \dots, e_{k_r}$, где $\{e_{k_1}, e_{k_2}, \dots, e_{k_r}\} = \{e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}\} \cup \{e_{j_1}, e_{j_2}, \dots, e_{j_r}\}$.

Для получения логической суммы $z = x \vee y$ по этому правилу нужно выбрать из обоих слагаемых $x = e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}$ и $y = e_{j_1}, e_{j_2}, \dots, e_{j_r}$ все входящие в них базисные символы $e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_p}$, $e_{j_1}, e_{j_2}, \dots, e_{j_r}$ и составить из них последовательность $z = e_{k_1}e_{k_2} \dots e_{k_r}$, не допуская в ней повторений базисных элементов и располагая базисные символы в порядке возрастания их номеров. Например, $e_4 \vee e_1 = e_1$, $e_1e_2 \vee e_1 = e_1e_2$, $e_2e_3 \vee e_1e_3e_4 = e_1e_2e_3e_4$.

Элементы множества S_n канонической алгебры понятий L_n можно естественным образом расположить в ряд. Начинаем этот ряд символом 0 , после него помещаем символ e_1 . Это - первый шаг, в результате которого получаем $2 = 2^1$ члена ряда. На втором шаге получаем еще два члена ряда, форми-

руя их из членов ряда, полученных на первом шаге: 0 заменяем на символ e_2 , а к символу e_1 дописываем справа символ e_2 . В результате имеем уже 2^2 членов ряда: $0, e_1, e_2, e_1e_2$. На третьем шаге получаем еще 2^2 членов ряда, формируя их из элементов уже имеющегося отрезка ряда: 0 заменяем символом e_3 , а остальные члены ряда получаем дописыванием справа символа e_3 к последующим членам уже имеющегося отрезка ряда. В результате имеем уже 2^3 членов ряда: $0, e_1, e_2, e_1e_2, e_3, e_1e_3, e_2e_3, e_1e_2e_3$. Процесс построения ряда продолжаем аналогичным образом. На n -ом шаге формируем 2^{n-1} элементов, заменяя в уже имеющемся отрезке ряда 0 на символ e_n и дописывая справа символ e_n к остальным членам ряда. В результате получаем искомый ряд элементов множества S_n , состоящий из 2^n элементов.

Пронумеруем элементы множества S_n в том порядке, в каком они располагаются в построенном нами ряду. Нулевому символу присваиваем номер 0, элементу e_1 – номер 1 и т.д. От каждого элемента нетрудно перейти к его порядковому номеру. Для этого символ e_1 снабжен весовым коэффициентом 2^0 , символ e_2 – коэффициентом 2^1 , символ e_n – весовым коэффициентом 2^{n-1} . Тогда произвольному элементу $e_{i_1}e_{i_2}\dots e_{i_p}$ соответствует порядковый номер $2^{i_1-1} + 2^{i_2-1} + \dots + 2^{i_p-1}$, представляющий собой сумму весовых коэффициентов всех символов, составляющих этот элемент. Например, элемент $e_2e_4e_7$ имеет номер

$$2^{2-1} + 2^{4-1} + 2^{7-1} = 2 + 8 + 32 = 42.$$

Нетрудно также от заданного номера N перейти к соответствующему ему элементу множества S_n . Для этого нужно перевести число N в двоичный код $\sigma_n\sigma_{n-1}\dots\sigma_2\sigma_1$. Здесь $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}, \sigma_n$ – двоичные цифры 0 или 1. Элемент множества S_n с номером N строим по следующему правилу. Если в

двоичном коде числа $N\sigma_i=1, (i=1,2,\dots,n)$, то символ e_i включается в последовательность $e_{i_1}e_{i_2}\dots e_{i_p}$, представляющую искомый элемент. Если же $\sigma_i=0$, то символ e_i в составе элемента $e_{i_1}e_{i_2}\dots e_{i_p}$ не включается.

К примеру, отыщем элемент, соответствующий номеру 154. Переводя число 154 из десятичной системы в двоичную, получаем двоичный код 10011010. В нем единицы стоят на втором, четвертом, пятом и восьмом местах (считая справа налево). Искомый элемент имеет вид $e_2e_4e_5e_8$.

Важно отметить, что если какой-либо элемент принадлежит множеству S_i , то он принадлежит также и всем множествам S_{i+1}, S_{i+2}, \dots ($i=1,2,\dots$) большей размерности. Например, элемент e_1e_2 , входящий в состав множества S_2 , входит также и в множество S_3 . Номер любого элемента остается одним и тем же вне зависимости от того, в составе какой алгебры L_i он рассматривается. Например, в алгебрах L_2 и L_3 элемент e_1e_2 имеет один и тот же номер 3. Логическая сумма $x \vee y$ любых двух слагаемых x и y (а также ее номер) будет одной и той же во всех алгебрах, где имеются элементы x, y и $x \vee y$. Все сказанное приводит к выводу, что при любых $i < j$ ($i, j \in \{1, 2, \dots\}$) алгебра L_j является просто расширением алгебры L_i . Иначе говоря, алгебра L_i является подалгеброй алгебры L_j . Имеет место вложение любой канонической алгебры меньшей размерности. Поэтому можно иметь дело всего лишь с одной алгеброй понятий L_n , размерность n которой выбрана достаточно большой с таким расчетом, чтобы все нужные нам алгебры понятий оказались фрагментами алгебры L_n . Алгебру понятий L_n , обладающую таким свойством, назовем универсальной канонической алгеброй понятий.

Для примера в табл. 1 представлены значения операции дизъюнкции $x \vee y$ в алгебре L_3 .

Таблица 1

Значения операции дизъюнкции в алгебре L_3

x \ y	0	e_1	e_2	e_1e_2	e_3	e_1e_3	e_2e_3	$e_1e_2e_3$
0	0	e_1	e_2	e_1e_2	e_3	e_1e_3	e_2e_3	$e_1e_2e_3$
e_1	e_1	e_1	e_1e_2	e_1e_2	e_1e_3	e_1e_3	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$
e_2	e_2	e_1e_2	e_2	e_1e_2	e_2e_3	$e_1e_2e_3$	e_2e_3	$e_1e_2e_3$
e_1e_2	e_1e_2	e_1e_2	e_1e_2	e_1e_2	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$
e_3	e_3	e_1e_3	e_2e_3	$e_1e_2e_3$	e_3	e_1e_3	e_2e_3	$e_1e_2e_3$
e_1e_3	e_1e_3	e_1e_3	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	e_1e_3	e_1e_3	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$
e_2e_3	e_2e_3	$e_1e_2e_3$	e_2e_3	$e_1e_2e_3$	e_2e_3	$e_1e_2e_3$	e_2e_3	$e_1e_2e_3$
$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$	$e_1e_2e_3$

Части таблицы, имеющие размер 2×2 и 4×4 ячейки, характеризуют операции дизъюнкции соответственно в алгебрах L_1 и L_2 . Таблица имеет размер 8×8 ячеек. Достаивая таблицу до размера 16×16 ячеек, можно получить таблицу, задающую операции дизъюнкции понятий в алгебре L_4 .

Переход от таблицы дизъюнкции понятий в алгебре L_i к таблице дизъюнкции понятий в алгебре L_{i+1} можно осуществить следующим способом.

1. Удваиваем вертикальный и горизонтальный размеры уже имеющейся таблицы, добавляя к ней снизу 2^i строк и справа 2^i столбцов.

2. Новые строки и столбцы помечаем элементами множества S_{i+1} , отсутствующими в множестве S_i . Располагаем эти элементы в порядке роста их номеров.

3. Ячейки верхней правой четверти таблицы заполняем, приписывая справа символ e_{i+1} к элементам, расположенным на соответствующих местах верхней левой четверти таблицы. Исключение составляет лишь верхняя левая ячейка, в которую следует занести символ e_{i+1} .

4. Остальные две четверти таблицы (нижнюю левую и нижнюю правую) заполняем точно также, как и верхнюю правую четверть таблицы.

2. Изоморфизм алгебр понятий

Рассмотренные в предыдущем параграфе канонические алгебры понятий являются конкретным случаем алгебры понятий. Теперь мы снова возвратимся к изучению алгебр понятий в абстрактном их понимании. Для обозначения n -мерных понятий алгебры L_n вводим формулы алгебры понятий L_n . Формулы будем строить из символов $0, e_1, e_2, \dots, e_n$, обозначающих образующие понятия алгебры L_n , символа \vee , обозначающего операцию дизъюнкции алгебры L_n , и двух вспомогательных символов – скобок (и). Символы $0, e_1, e_2, \dots, e_n$ будем называть образующими символами алгебры L_n , а символы e_1, e_2, \dots, e_n – базисными символами алгебры L_n . Любые конечные последовательности введенных символов будем называть выражениями алгебры L_n .

Понятие формулы определяем индуктивно с помощью порождающей процедуры, основанной на следующих двух правилах.

1. Все образующие символы называем формулами алгебры L_n .

2. Если выражения A и B – формулы алгебры L_n , то выражение $(A \vee B)$ называем формулой алгебры L_n . Будем считать, что формула $(A \vee B)$ обо-

значает понятие, получаемое в результате дизъюнкции понятий, обозначенных формулами A и B . Нетрудно видеть, что введенные формулы представляют собой графическое изображение всевозможных способов получения понятий в алгебре L_n . Из аксиомы n -мерности следует, что для каждого понятия алгебры L_n найдется хотя бы одна обозначающая его формула. Это означает, что язык формул логической алгебры L_n при любом $n \in \{1, 2, \dots\}$ полон. Отметим, что выражения и формулы алгебры понятий L_n являются вместе с тем выражениями и формулами любых алгебр понятий L_{n+1}, L_{n+2}, \dots большей размерности.

Рассмотрим примеры образования формул алгебры понятий. Берем трехмерную алгебру понятий. В роли символов e_1, e_2, e_3 используем в ней буквы a, b, c . По правилу 1) образуем формулу $(0 \vee b)$, из формул c и $(0 \vee b)$ образуем формулу $(c \vee (0 \vee b))$, из формул $(0 \vee b)$ и b образуем формулу $((0 \vee b) \vee b)$, из формул $(c \vee (0 \vee b))$ и $((0 \vee b) \vee b)$ образуем формулу $((c \vee (0 \vee b)) \vee ((0 \vee b) \vee b))$. Итак, мы построили ряд все более удлиняющихся формул:

$$0, b, c, (0 \vee b), (c \vee (0 \vee b)), ((0 \vee b) \vee b), ((c \vee (0 \vee b)) \vee ((0 \vee b) \vee b)).$$

Формулы, обозначающие одно и то же понятие, назовем тождественными формулами. Из аксиомы ассоциативности следует, что все формулы, отличающиеся друг от друга лишь положением имеющихся в них скобок, тождественны. Например, формулы

$$((c \vee (0 \vee b)) \vee ((0 \vee b) \vee b)),$$

$$(((c \vee 0) \vee b) \vee 0) \vee (b \vee b) \text{ и } ((c \vee 0) \vee (((b \vee 0) \vee b) \vee b))$$

тождественны друг другу. В связи с этим появляется возможность выбросить из формулы все скобки и записывать любые понятия в виде выражений более простых, чем формулы. Выражения, получаемые из формул исключением всех скобок, будем называть бесскобочными формами. Например, всем трем только что записанным формулам соответствует одна и та же бесскобочная форма $c \vee 0 \vee b \vee 0 \vee b \vee b$.

Далее, из аксиомы коммутативности вытекает возможность сузить класс бесскобочных форм для обозначения всех понятий, оставив лишь те из них, у которых образующие символы следуют в порядке $0, e_1, e_2, \dots, e_n$. К примеру, одно и то же понятие, представленное тремя различными скобочными формами $c \vee 0 \vee b \vee 0 \vee b \vee b$, $b \vee b \vee 0 \vee b \vee 0 \vee c$, $0 \vee c \vee 0 \vee b \vee b \vee b$, можно записать единственной формой $0 \vee 0 \vee b \vee b \vee b \vee c$. Кроме того, основываясь на аксиоме идемпотентности, можно упростить запись понятия, оставляя в обозначающей ее бесско-

бочной форме лишь по одному вхождению образующего символа. Например, понятие, записанное в форме $0\vee 0\vee b\vee b\vee b\vee b\vee c$, можно представить более короткой бесскобочной формой $0\vee b\vee c$. Наконец, из аксиомы нуля вытекает возможность еще большего упрощения представления понятий: из любой бесскобочной формы, кроме формулы 0, можно исключить символ 0, если он там имеется. К примеру, понятие, представленное формой $0\vee b\vee c$, после выбрасывания из этой формы символа 0 запишется более экономной бесскобочной формой $b\vee c$.

Формулу 0 и все бесскобочные формы, в которые не входит символ 0, а базисные символы входят не более, чем по одному разу и расположены в порядке роста их номеров, будем называть стандартными формами понятий. Формулу 0 будем называть нулевой стандартной формой. Ниже приводится теорема о стандартной форме.

Теорема. Для каждого понятия алгебры L_n $n=(1, 2, \dots)$ существует единственная стандартная форма.

Доказательство. Существование. Каждая ненулевая стандартная форма алгебры L_n имеет вид

$$e_{i_1} \vee e_{i_2} \vee \dots \vee e_{i_p},$$

где $i_1, i_2, \dots, i_p \in \{1, 2, \dots, n\}$, $i_1 < i_2 < i_3, \dots, p \leq n$. Как было сказано ранее, для каждого понятия алгебры L_n найдется хотя бы одна обозначающая ее формула. Вместе с тем, только что было установлено, что для каждой формулы A алгебры понятий L_n существует стандартная форма, обозначающая то же понятие, что и формула A . Таким образом, понятие алгебры L_n можно представить в стандартной форме.

Единственность. Пусть $A = e_{i_1} \vee e_{i_2} \vee \dots \vee e_{i_p}$ - произвольно выбранная ненулевая стандартная форма. Множество

$$E_A = \{e_{i_1} \vee e_{i_2} \vee \dots \vee e_{i_p}\}$$

всех базисных символов, присутствующих в форме A назовем ядром ненулевой стандартной формы

A . Ядром ненулевой стандартной формы 0 назовем пустое множество \emptyset . Ядро каждой стандартной формы является одним из подмножеств множества

$$V_n = \{e_1 \vee e_2 \vee \dots \vee e_n\}.$$

Каждому подмножеству множества V_n соответствует своя стандартная форма. Таким образом, между стандартными формами и подмножествами множества V_n имеет место взаимное однозначное соответствие. Всего имеется 2^n подмножеств множества V_n . Следовательно, всего существует 2^n различных стандартных форм. С другой стороны, множество V_n состоит из 2^n различных понятий алгебры L_n . Таким образом, каждому понятию алгебры L_n соответствует единственная стандартная форма. Теорема доказана.

Выводы

В работе проанализированы множества элементов канонической алгебры понятий. Показано, что алгебра большей размерности является расширением алгебры меньшей размерности. Иначе говоря, алгебра меньшей размерности является подалгеброй алгебры большей размерности. Введены правила построения формул алгебр понятий и показано, что язык формул логической алгебры любой размерности полон. Доказана теорема о существовании и единственности стандартной формы алгебры понятий.

Список литературы

1. Голян Н.В. Алгебра понятий как формальный аппарат моделирования действий интеллекта над понятиями / Н.В. Голян, В.В. Голян, Л.Д. Самофалов // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ, 2016. – Вип. 3(39). – С. 38-41.

Надійшла до редколегії 30.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПРО ВЛАСТИВОСТІ КАНОНІЧНОЇ АЛГЕБРИ ПОНЯТЬ

Н.В. Голян

У роботі проаналізована множина елементів канонічної алгебри понять. Показано, що алгебра більшої розмірності є розширенням алгебри меншої розмірності. Введені правила побудови формул алгебри понять і показано, що мова формул логічної алгебри будь-якої розмірності повна. Доведена теорема про існування і єдиність стандартної форми алгебри понять.

Ключові слова: алгебра скінченних предикатів, алгебра понять, канонічна алгебра, стандартна форма.

ABOUT PROPERTIES OF CANONICAL CONCEPTS ALGEBRA

N.V. Golian

The concepts canonical algebra elements sets are in-process analysed. It is shown that algebra of greater dimension is expansion of algebra of less dimension. The concepts algebras formulas construction rules are entered. It is shown that any dimension concepts algebra formulas language is full. A theorem about concepts algebra standard form existence and unicity is well-proven.

Keywords: finite predicates algebra, algebra of concepts, canonical algebra, standard form.

УДК 004.891

В.Д. Хох, Є.В. Мелешко, М.С. Якименко

Кіровоградський національний технічний університет, Кропивницький

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методи побудови семантичних, фреймових, продукційних та нейромережових експертних систем, досліджені їх переваги та недоліки. Наведені основні принципи функціонування експертних систем.

Ключові слова: експертні системи, семантичні мережі, фреймові експертні системи, продукційні експертні системи, нейронні мережі

Вступ

Експертні системи представляють собою напрямки систем штучного інтелекту, що здатні частково замінити спеціалістів експертів у рішенні певних практичних задач.

Експертні системи – це інтелектуальні програмні засоби, здатні у ході діалогу з людиною одержувати, накопичувати та коригувати знання із заданої предметної галузі, виводити нові знання, розв'язувати на основі цих знань практичні задачі та пояснювати їх хід розв'язку [1].

Існує ряд прикладних задач, які вирішуються за допомогою експертних систем, більш успішно, ніж будь-якими іншими засобами.

Експертні системи доцільно використовувати, якщо предметна область відповідає наступним критеріям: дані і знання надійні і не змінюються з часом, множина можливих рішень відносно невелика, у процесі виконання завдання повинні використовуватися формальні міркування, повинен бути принаймні один експерт, який здатний явно сформулювати свої знання і пояснити свої методи застосування цих знань для вирішення задач [1 – 3]. Области застосування експертних систем можуть бути поді-

лені на декілька основних класів: діагностика (медична, несправностей тощо), прогнозування, планування, управління, машинне навчання та інтерпретація (отримання висновків на основі результатів спостереження) [2].

Метою даної статті є дослідження основних методів побудови експертних систем.

Основна частина

Було проведено дослідження наступних видів експертних систем:

- семантичні експертні системи;
- фреймові експертні системи;
- продукційні експертні системи;
- нейромережові експертні системи.

Розглянемо спочатку загальну структуру експертної системи [1 – 6] (рис. 1).

У створенні експертних систем повинні брати участь фахівці як мінімум двох категорій [1]:

- експерти, що є висококваліфікованими працівниками у даній предметній області, знання яких потрібно передати експертній системі;
- інженери знань, що здійснюють формалізацію знань експертів та приводять їх до вигляду, придатного для внесення у базу знань.

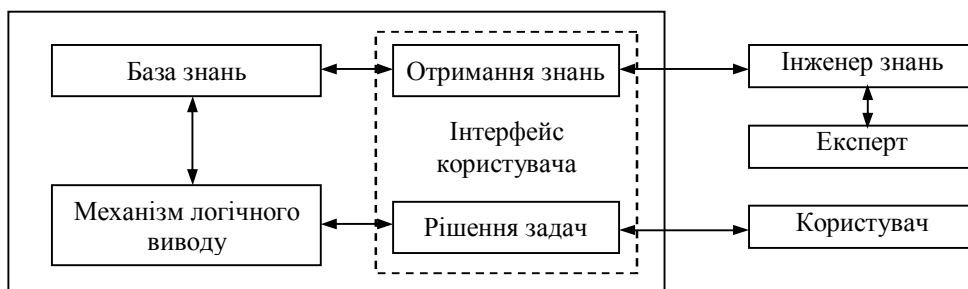


Рис. 1. Загальна структура експертної системи

База знань. Основу експертної системи складає база знань, що зберігає множину фактів і набір правил, отриманих від експертів, чи зі спеціальної літератури. База знань відрізняється від бази даних тим, що в ній між даними існують певні логічні зв'язки. У базі знань елементи пов'язані як між собою та з поняттями зовнішнього світу. Вона містить

два основних елементи: факти (дані) з предметної області і спеціальні евристичні або правила, які керують використанням фактів при вирішенні проблеми. Знання можуть бути представлені декількома способами: логічною моделлю, продукціями, фреймами і семантичними мережами.

Машина логічного виводу. Головний елемент

експертної системи, що робить пошук в базі знань для отримання рішення та здійснення висновку. Використовуються для моделювання міркувань, опрацювання питань і підготовки відповідей.

Інтерфейс користувача. Інтерфейс користувача повинен забезпечувати два режими роботи: режим отримання знань і режим рішення задач. У режимі отримання знань експерти за посередництва інженерів знань заповнюють базу знань. У режимі рішення задач користувач використовує систему як довідник, або як засіб для рішення певної практичної задачі.

Базові функції експертних систем: одержання знань, представлення знань, управління процесом пошуку рішень, роз'яснення прийнятого рішення.

Семантичні експертні системи. В семантичних експертних системах база знань представлена у

виді семантичної мережі. Семантичні мережі являють собою граф вершинами, якого є певні образи (поняття), а ребра визначають відносини між ними [1, 2, 6].

Семантичні мережі можна розділити на два великі класи: перший – це семантичні мережі сутностей, які відображають відносини між певними сутностями (образами) та семантичні мережі атрибутів – ці мережі відображають взаємозв'язок сутності до певних атрибутів/властивостей, які притаманні їм.

Безперечною перевагою семантичних мереж є можливість оперувати складними поняттями і навіть враховувати певні їхні властивості, є можливість навчити систему самостійно, додавати нові поняття і намагатися «впелити» їх у вже існуючу мережу.

На рис. 2 зображено загальну схему семантичної мережі атрибутів.

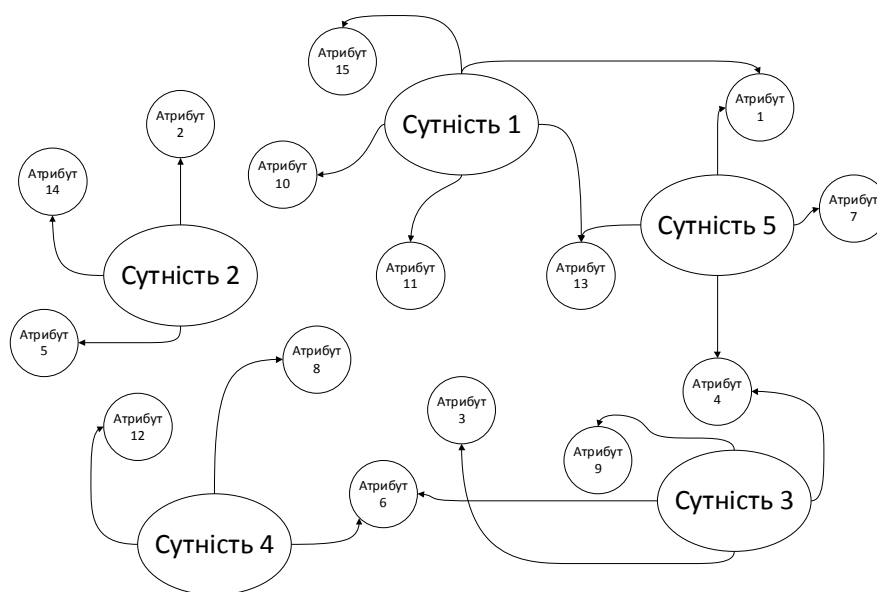


Рис. 2. Загальна схема семантичної мережі атрибутів

Семантичні мережі дуже наглядні, їх зручно будувати та читати, але у той же час немає чітко визначених норм, щодо їх побудови. Також не визначено механізмів усунення конфліктів. Семантичні мережі оперують об'єктами, у тому числі визначаючи їх наслідування, у таких мережах виникають характерні для такого роду діяльності проблеми, наприклад, «алмаз Ніксона» – проблема багаторазового наслідування. Також семантичні мережі по мірі свого заповнення втрачають властивості зручного доповнення та інформативності. Система, яка працює з подібною моделлю представлення знань повинна мати досить великий запас механізмів вирішення конфліктів. До того ж, система буде ефективною лише до досягнення певної кількості сутностей, після чого буде виникати надто велика кількість конфліктів, яка може знищити мережу. За допомогою семантичних мереж можна дуже добре робити певні висновки дедуктивним методом, але йому бракує абстракції.

Семантична мережа – це зручний інструмент для аналізу та побудови моделі середовища, застосування експертної системи та визначення проблемної області, однак, має обмежений інструментарій вирішення конфліктів, не має формальних правил доповнення, що зумовлює ще більшу кількість ситуацій, при яких виникають конфлікти. Експертній системі заснованій на семантичній моделі представлення знань не забракне у дедукції, але не вистачить абстракції для вирішення задач, що стоять перед розроблюваною системою.

Фреймові експертні системи. Фреймове представлення знань може вирішити питання недостатньої «поінформованості» експертної системи, оскільки, працює одразу з великою кількістю інформації стосовно певної сутності/об'єкту, до того ж, у «тілі» фрейму є інформація про семантичні зв'язки об'єкта, і навіть більше, у фреймі є закріплені за ним процедури, які він може виконати при певних умовах [2, 5,

6]. У фреймовій моделі представлення знань також є можливість робити логічні стрибки, тобто, система не буде висновки на монотонній дедукції, ідучи від одного об'єкта семантичного ланцюга до іншого [2]. У фреймах є можливість наслідування одного фрейму іншими, що дає можливість значно скоротити кількість використаної пам'яті, а також, значно покращи-

ти розуміння бази знань людиною, що надає більше можливостей для її доповнення та оптимізації. Фреймова модель має потенціал для комбінування різноманітних моделей представлення знань, що дозволяє компенсувати деякі мінуси системи або систем представлення знань, що унаслідуються. Простий приклад мережі фреймів зображено на рис. 3.

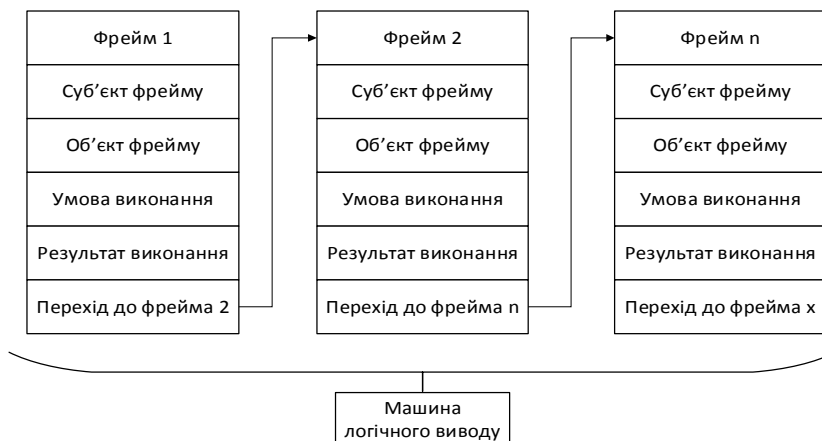


Рис. 3. Приклад мережі фреймів

Що стосується мінусів фреймового представлення знань, то тут однією з найголовніших можливо виділити проблему пов'язану з тим, що фрейм сам по собі відображає досить складний фрагмент певних знань, а тому видалення фрейму з бази даних досить болюча процедура і вимагає при проведенні брати до уваги і всі фрейми, які наслідують фрейм, що видалається і фрейми, які наслідують фрейм, не кажучи вже про те, що видалення фрейму може призвести до розриву семантичних зв'язків у системі. Також видалення фрейму може призвести (в залежності від архітектури системи) до втрати інформації по цілому об'єкту і, відповідно, система більше не зможе працювати з ним. Для фреймів відсутня формальна теорія виводу, а отже, всі питання пов'язані з організацією ієрархії фреймів лежать на людині, що розробляє/проектуює базу знань.

Продукційні експертні системи. Продукційна модель представлення знань відрізняється з-поміж інших простотою у розумінні, і це пов'язано, перш за все, з тим, що більшість людських думок виражаються за допомогою правил «якщо – то», але, не дивлячись на це, подібна система представлення знань є досить складною, це в великій мірі залежить від складності організації знань такою системою [2, 6]. Класичним прикладом продукції є імплікація – якщо А то В, де А та В є елементами деякої множини С, тобто вони є елементами/об'єктами з однієї предметної області. Але для використання у експертних системах цього замало, тому зараз продукція складається з унікального номера, назви області застосування, ядра продукції (імплікація), правила застосування (якщо набуває значення істини, продукція виконується) і деяких процедур, які будуть виконані у разі

спрацювання ядра продукції. Значним мінусом такої системи є досить повільні алгоритми застосування продукції. До того ж, як і у випадку з фреймовим представленням знань, у продукції немає формальних інструментів організації та застосування. Це призводить до наступної проблеми – по мірі заповнення бази знань продукціями буде виникати все більше конфліктів. Вважається, що база знань, в якій є більше тисячі продукцій є недієспроможною. До того ж, пошук та вибірка певної продукції вимагає значних обчислювальних ресурсів. Але, незважаючи на мінуси окресленні вище, продукційні моделі представлення знань широко використовуються, наприклад, у фінансовій сфері для обчислення можливого руху ринку. Найбільш відомою такою системою є RETE [4] – створена Чарльзом Форгі з університету Карнегі, вперше була описана у 1974 році.

Основними елементами експертної системи на основі продукційного представлення знань є [2]:

- **база знань**, в якій зберігаються продукції;
- **вирішувач** – елемент системи, що, крім застосування та пошуку продукцій і виконання їх функціонального блоку, вирішує різноманітні конфлікти;
- **фактологічна база** – відображає ту предметну область, в якій працює експертна система;
- **робоча пам'ять** – містить продукції, які чекають на своє застосування або множину продукцій, що очікують на вирішення конфлікту, який виник через те, що всі вони відповідають поточним критеріям пошуку.

Отже система працює наступним чином – є певний стан зовнішнього світу, який системі представлений у вигляді фактологічної бази, і є певна задача – перевести поточне середовище у деякий інший

стан, на основі цього вирішувач (ця функція може бути надана іншому об'єкту, в залежності від архітектури системи) починає пошук по базі знань у пошуках продукції, результат роботи якої вказує на необхідну зміну у фактологічній базі, знаходячи таку продукцію, надсилає її в робочу пам'ять, коли вирішувач дійшов кінця бази знань – починається вирішення конфліктів у робочій пам'яті та застосування і видалення продукцій з неї. При застосуванні продукції фактологічна база певним чином змінюється в залежності від функціонального блоку продукції, процес повторюється доки система не переведе фактологічну базу у належний стан.

Реалізація алгоритму, за яким вирішувач йде

від продукції до продукції послідовно по всій базі знань, називається наївною. При використанні цього алгоритму вирішувач будує граф (префіксне дерево), вузли якого відповідають частинам умов правил. Шлях від кореня до листа графу вибудовує повну умову деякої продукції. В процесі роботи кожен вузол зберігає список фактів, що відповідають умові. При додаванні або модифікації факту він проходить по графу, і при цьому відмічаються вузли, умовам яких даний факт відповідає. Коли виконується повна умова, коли вирішувач дістається листа графу – правило виконується. Загальний вигляд реалізації «наївного» алгоритму обробки продукційної моделі представлення знань зображено на рис. 4.

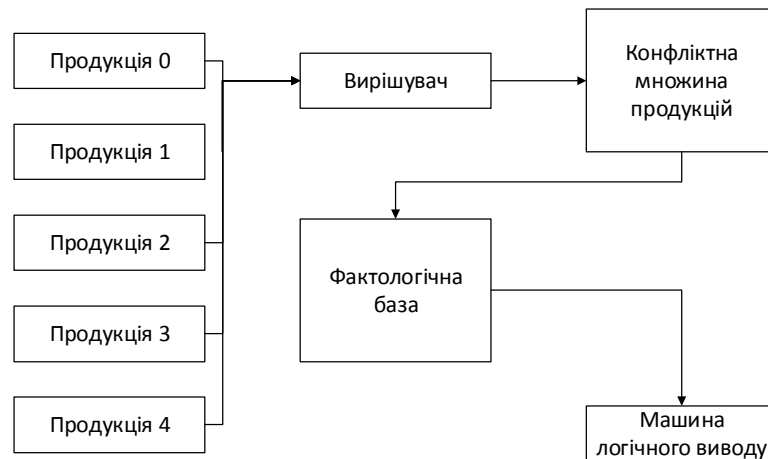


Рис. 4. Схема "наївного" алгоритму обробки продукційної моделі представлення знань

Нейромеревеві експертні системи . Такі експертні системи використовують нейронні мережі для навчання. Нейронні мережі являють собою математичну модель, що побудована за принципом функціонування біологічних нейронних мереж [1-3]. Їх доцільно використовувати, якщо є велика кількість даних для навчання мережі, а внутрішні закономірності між даними невідомі або їх складно описати.

Штучні нейронні мережі складаються із з'єднаних між собою штучних нейронів, які взаємодіють між собою. Кожен такий нейрон досить простий і має справу лише з певним сигналом, який отримує, та сигналом, який він обробивши надсилає іншим нейронам. Завдяки тому, що такі нейрони, зазвичай, об'єднують у досить великі мережі, а їх взаємодія контролюється – нейронна мережа може виконувати досить складні задачі.

Загальну схему роботи нейрона у нейронній мережі можна побачити на рис. 5.

Нейрон отримує деякі сигнали на своїх входах ("синапсах"), кожен з яких має свою "вагу", після чого виконується розрахунок зваженої суми сигналів на входах. Наступним кроком є застосування до отриманого значення зваженої суми, так званої функції активації. Значення одержане після застосування функції активації направляється на вихід нейрона

("аксон"), аксон передає сигнал у наступний шар нейронів, або на вихід мережі, в залежності від того де розташований даний нейрон. Після отримання сигналу на виході нейромережі, програмне забезпечення обробляє та інтерпретує вихідний сигнал.

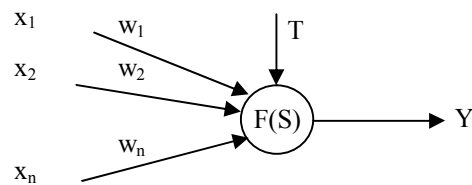


Рис. 5. Загальна схема роботи нейрона у штучній нейронній мережі [2, 3]:

$x_1 - x_n$ – входи нейрона (синапси);

$w_1 - w_n$ – вагові коефіцієнти входів;

S – зважена сума входів нейрона;

$F(S)$ – функція активації нейрона;

T – порогове значення (значення, після якого нейрон переходить у стан збудження), є не у всіх типів штучних нейронів;

Y – вихід нейрона (аксон).

Зважена сума S обчислюється за наступною формулою:

$$S = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_n \cdot w_n. \quad (1)$$

Функція активації $F(S)$ – визначає залежність сигналу на виході нейрона від зваженої суми сигнала

лів на його входах. В якості функції активації можуть використовуватися: лінійна функція, порогова функція, сигмоїдальна функція тощо. Завдяки можливості обробити за допомогою однієї мережі велику кількість даних та досить простої процедури керування точністю вихідних даних, завдяки гнучкості системи та можливості її навчання та перенавчання нейронні мережі широко застосовуються для розпізнання різноманітних образів – наприклад, голосу, рукописного тексту або образів на фото та відео.

Нейронні мережі використовуються для вирішення складних задач, які вимагають аналітичних обчислень подібних тим, що робить людський мозок. Найпоширенішими застосуваннями нейронних мереж є: класифікація, прогнозування, розпізнавання, управління. На жаль, навчання нейромережі заняття кропінкою і вимагає, іноді, великої кількості часу. Проблему також становить ситуація, коли нейрону мережу необхідно навчити працювати із складними поняттями, зв'язувати їх у більш складні поняття і результатом роботи мережі повинен бути досить великий набір значень, до того ж досить чіткий. Таку мережу складно проектувати, оскільки нейронна мережа може працювати з певною точністю лише з обмеженою кількістю "образів", до того ж досить певного, визначеного типу. Разом із зростанням кількості таких образів – точність мережі знижується. Складні нейромережі вимагають значних обчислювальних ресурсів, а із зменшенням цих ресурсів збільшується або час роботи мережі, або зменшується її точність.

Висновки

Експертні системи дозволяють вирішувати наступні класи задач: діагностика, прогнозування, планування, управління, розпізнавання, машинне навчання та інтерпретація. Вони дозволяють автоматизувати роботу експертів у різних галузях знань.

У створенні експертних систем беруть участь експерти та інженери знань. Основними складовими елементами експертних систем являються: система отримання знань, база знань, система рішення задач та механізм логічного виводу. В статті досліджено основні методи побудови експертних систем –

семантичні мережі, фреймові експертні системи, продукційні експертні системи та експертні системи на основі нейронних мереж, досліджені їх переваги та недоліки. Різноманітність моделей представлення знань експертних систем дозволяє обрати саме ту, яка необхідна для вирішення поставленої задачі в певній предметній області.

Продукційні експертні системи зручно використовувати для представлення знань, які можуть приймати форму переходу між станами: ситуація-дія, факт-висновок і т.д. Семантичні та фреймові експертні системи зручно використовувати, коли добре відомі семантичні зв'язки між об'єктами, інформацію про які слід помістити в базу знань. Нейронні мережі можуть бути корисними, коли внутрішні закономірності між даними невідомі або їх складно описати, а задачі, які ставляться перед експертною системою вимагають аналітичних обчислень.

Список літератури

1. Глибовець М.М. Штучний інтелект: Підручник / М.М. Глибовець, О.В. Олецкий. – К.: Вид. дім "КМ Академія", 2002. – 366 с.
2. Болотова Л.С. Системи искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л.С. Болотова – М.: Финансы и Статистика, 2012. – 663 с.
3. Литвин В.В., Пасічник В.В., Нікольський Ю.В. Аналіз даних та знань [Навчальний посібник] – Львів: "Магнолія 2006", 2015. – 276 с.
4. Doorenbos R. Production Matching for Large Learning Systems [Електронний ресурс] // Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA – Режим доступу до матеріалу статті: <http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/1995/CMU-CS-95-113.pdf>.
5. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG, 3-е издание – М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. – 640 с.
6. Верес О.М. Технології підтримки прийняття рішень. 2-ге видання [Навчальний посібник] – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 252 с.

Надійшла до редколегії 18.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можасв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В.Д. Хох, Е.В. Мелешко, Н.С. Якименко

В работе рассмотрены методы построения семантических, фреймовых, продукционных и нейросетевых экспертных систем, исследованы их преимущества и недостатки. Приведены основные принципы функционирования экспертных систем.

Ключевые слова: экспертные системы, семантические сети, фреймовые экспертные системы, продукционные экспертные системы, нейронные сети.

RESEARCH OF METHODS OF BUILDING EXPERT SYSTEMS

V.D. Khokh, E.V. Meleshko, M.S. Yakymenko

In this paper we considered the methods for constructing semantic, frame-based, production expert systems and expert system based on artificial neural networks, studied their advantages and disadvantages. The basic principles of the expert systems were considered.

Keywords: expert systems, semantic networks, frame-based expert systems, production system, neural networks.

Ю.П. Шабанов-Кушнарченко¹, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко¹, Л.В. Шабанова-Кушнарченко²

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

² Національний технічний університет «ХПІ», Харків

О ПЕРСПЕКТИВАХ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТА

В работе обсуждаются перспективы и актуальные направления развития теории искусственного интеллекта. Показана необходимость разработки бионики – науки, изучающей существующие в природе механизмы и явления интеллектуальной деятельности. Обоснована целесообразность применения аппарата алгебры конечных предикатов и метода сравнения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, бионика, алгебра конечных предикатов, метод сравнения.

Введение

Характеристика ЭВМ как «ученых идиотов», данная Шенноном на заре развития вычислительной техники, остается пока в силе и сегодня. Основные проблемы, перед которыми разработчики искусственного интеллекта (ИИ) остановились в 50-е годы прошлого века, до сих пор не преодолены. Компьютеры пока не мыслят и нет надежд на то, что у них в обозримом будущем появятся проблески разума, если события и дальше будут развиваться подобным образом. Ощущение такое, что техника ИИ стоит перед неприступной стеной, обход которой совершенно невозможен. И дело здесь не в слабости технических возможностей современных компьютеров, а в несовершенстве функциональной организации существующих систем ИИ.

История развития науки свидетельствует о том, что качественным сдвигам после длительного периода застоя обычно предшествует изменение точки зрения на предмет исследования. Думается, что и в области ИИ прорыв может быть обеспечен при новом подходе к проблеме. Такой новый подход, по нашему мнению, может дать бионика. До сих пор умственные способности машины развивались почти исключительно за счет новых технических решений. Разработчики автоматических информационных систем лишь в крайне незначительной степени используют уже существующие в природе механизмы и явления интеллектуальной деятельности.

При сложившемся положении надо опираться также и на те решения, которые накопила природа, изучать закономерности естественного интеллекта. Ведь все те умственные способности, которые желательно привить машине, уже имеются у человека, причем в достаточно развитом виде, и неразумно пренебрегать этой подсказкой природы. Это тем более необходимо, что никакой другой интеллект, кроме человеческого, пока науке недоступен. Можно с большой степенью уверенности утверждать, что нет двух различных видов интеллекта – машин-

ного и человеческого, законы интеллекта одинаковы вне зависимости от того, кому он принадлежит.

Ядерная энергетика не достигла бы многого, если бы она не опиралась на открытия физики, а космонавтика – на достижения механики и других естественных наук. Все преуспевающие области техники опираются на изучение соответствующих законов природы. Только одна техника ИИ этого не делает, и на этом сильно проигрывает. Систематические исследования человеческого интеллекта, конечно, требуют огромных усилий и средств, однако и в других областях науки и техники охотно идут на это и находят такой способ действий очень выгодным. Все же лучше ценой больших усилий и затрат медленно двигаться вперед, чем десятилетиями топтаться на одном месте.

1. Формальный аппарат теории интеллекта

Наука, изучающая механизмы естественного интеллекта с целью использования добытых знаний для создания систем ИИ, называется теорией интеллекта [1]. Один из пионеров в области ИИ Нильсон писал: «Если бы такую теорию интеллекта можно было бы создать, то с ее помощью можно было бы направленно вести разработку интеллектуальных машин» [2]. Теория интеллекта – это не техника, это область естествознания, физики. Имеется физический объект – человек с его интеллектом. Требуется математически описать законы, управляющие интеллектуальной деятельностью человека. Требование математического оформления результатов исследования для теории интеллекта обязательно, поскольку словесные неформализованные описания умственных способностей человека, которые дает психологическая наука, нельзя передать машине; человек их понимает, но компьютер может усвоить только полностью формализованные знания.

Чтобы ответить на вопросы – как достичь прогресса в разработке теории интеллекта, в каких направлениях ее развивать, полезно учесть опыт физи-

ки. Фізика користується хорошо розвинутим математическим апаратом, який спеціально для неї розробляється цілою армією математиків. Відкриваемі в фізиці закони описуються в формі математических рівнянь, якими задаються визначені відносини. Крім того, математики розробляють методи рішення рівнянь. Рішаючи рівняння відносно тих чи інших змінних, отримують опис відповідних фізических процесів. Аналогічно цьому в теорії інтелекту можна ставити задачу розробки спеціального математического апарату рівнянь для описання законів інтелекту і апарату функцій для описання інтелектуальної діяльності.

Представляється, що для теорії інтелекту перш за все необхідний математический апарат. Чи може, для неї підійде математический апарат, використовуваний в фізиці? А там використовується неперервна (континуальна) математика. Для яких-то периферійних задач теорії інтелекту континуальна математика напевно підійде. Так, наприклад, на мові інтегрального числення зручно описувати роботу органів почуттів [3]. Однак очевидно, що головною опорою для теорії інтелекту такої апарату стати не може. Справа в тому, що інтелект – інструмент універсальний, і для свого формального описання він, природно, потребує в універсальному математическому апараті. Апарат же речесвенних функцій, дифференціального і інтегрального числення, створений для потреб фізики, дуже спеціалізований, він явно не має властивості універсальності. Чи може бути, підійде апарат дискретної (лічильної) математики, розроблений теорією алгоритмів і автоматів? Однак цей математический апарат теж не універсальний, про це свідчить теорема Геделя про неповноту. Об цю теорему в своє час розбирався програма Гільберта створення теорії доведенств на базі лічильної математики. Теорію доведенств Гільберт розумів, як науку про правила, згідно яких діє наше мислення, т.е. про існування, як теорію інтелекту.

Чи означає це, що універсальний математический апарат, необхідний для теорії інтелекту, взагалі неможливий? Гільберт з таким висновком не погоджується. Він пише: «...виникшеє на визначені час мислення, якби з результатів Геделя слідуює неіснуючіє моєї теорії доведенств, є заблудженням. Цей результат на самому справі показує тільки те, що "...кінцева точка зору повинна бути використана деяким більш сильним образом..."» [4]. В цьому висказуванні ми усмаїриваємо прозив до переходу від лічильної математики до кінцевої. В іншому місці [5] Гільберт пише: «Загальний висновок такий: нескінченне ніде не реалізується. Його немає в природі, і воно недо-

пустимо як основа нашого розумного мислення, – тут ми маємо замечательную гармонію між існуванням і мисленням».

Теорема Геделя про неповноту на кінцевою математику не розповсюджується, тому остання вільна від обмежень, яким підвизнена лічильна математика. Отсюда примудительно витікає висновок: саме кінцева математика представляє собою той єдинственно можливий універсальний мовою формального описання, який так необхідний для теорії інтелекту. Сказанне взагалі не означає, що континуальна чи лічильна математика неприменима в теорії інтелекту. Вона применима, але не в якості універсального засрака формального описання інтелектуальної діяльності людини. Так, наприклад, з допомогою інтегралів можна описати преобразование зрительной системы людини світлового випромінювання в кольорове відчуття.

З прикладної точки зору мовою кінцевої математики теж представляється цілком прийнятним, так як будь-які системи ІІ мають кінцевою складність. З їх допомогою можна практично воспроизвести тільки ті інтелектуальні процеси, які допускають математическе описання на мовою кінцевої математики. Ітак, зупиняємося на кінцевої математиці в ролі універсального мовою теорії інтелекту. Але в формі якої конкретної алгебраїческой системи вона повинна використовуватися в теорії інтелекту? Для цієї цілі можна використовувати алгебру кінцевих предикатів (АКП) [1]. АКП повна, т.е. на мовою АКП можна записати будь-яке кінченне відношення і будь-яку кінцевою функцію. Це означає, що на мовою АКП можна виразити будь-який закон інтелекту і будь-яку інтелектуальную діяльність, реалізуемую комп'ютером.

Все те, що можна виразити на мовою АКП, можна також практично воспроизвести на ЕВМ. І навпаки – все те, що можна реалізувати на ЕВМ, можна також записати на мовою АКП. Висновок про прийнятності для теорії інтелекту АКП підкріплюється ще і тим, що до АКП ведуть буквально всі шляхи. Так, якщо мовою теорії графів доповнити формульним апаратом, то в результаті отримуємо АКП. Якщо алгебру логіки обобщити і перейти від двоїчних змінних до буквенними, – теж отримуємо АКП. Якщо багрозначную логіку доповнити мовою для записи відносин, – знова приходимо до АКП. Нарешті, якщо взяти кінцевий фрагмент логіки предикатів і алгебраїзувати його, то і в цьому випадку приходимо до той же АКП.

Очень важно, что АКП служит для теорії інтелекту не тільки формальним мовою описання законів інтелекту і інтелектуальної діяльності людини. Її роль виявляється значно більш значительной. Без преувеличения можна сказати,

что АКП в действии – это и есть интеллект. Структуры АКП выражают самую суть интеллектуальных процессов и явления, они допускают непосредственную интерпретацию в психологических терминах. Так, формулы АКП можно непосредственно интерпретировать как фразы естественного языка; предикаты, обозначаемые формулами, – как мысли человека; операции над предикатами – как мыслительную деятельность человека. Уравнения АКП интерпретируются как законы мышления. Минимизация формул непосредственно связывается с лаконизмом речи. Декомпозиция формул соответствует расчленению текста на отдельные предложения в процессе речи.

Предикаты различных порядков соответствуют понятиям различного уровня абстрактности. Решение уравнений АКП можно трактовать как творческую деятельность человека. Благодаря наличию такой широкой содержательной интерпретации, даже чисто математическая разработка АКП позволяет продвигать вперед разработку теории интеллекта. Минимизация, декомпозиция, решение уравнений, тождественное преобразование формул – это важные задачи теории интеллекта. В данной области уже сейчас имеются существенные результаты.

Другая важная проблема теории интеллекта, которая также поддается сравнительно легкой и быстрой разработке, заключается в формальном описании математических понятий, используемых людьми в своей интеллектуальной деятельности. Любое математическое понятие, переведенное на язык АКП, немедленно становится доступным для систем ИИ. Уже описаны базовые понятия математики, такие как принадлежность элемента множеству, равенство и включение множеств, декартово произведение множеств. Описание же таких математических объектов как непрерывность, интеграл, производная, т.е. понятий континуальной математики, практически еще не начиналось. Выражение понятий континуальной и счетной математики на языке конечной математики вполне осуществимо. О возможности этого в свое время писал еще Гильберт [5]. Когда все эти работы будут доведены до конца, вычислительные системы смогут оперировать математическими понятиями столь же легко и свободно, как это делает человек.

АКП приносит свои плоды и в такой, казалось бы, устоявшейся области, как синтез схем ЭВМ [6]. До сих пор математической основой такого синтеза служила двоичная алгебра логики. Оказывается, синтез схем можно вести также и на базе буквенной АКП. Схемы получают широко распараллеленными, их структура напоминает строение нейронных ансамблей, которые нейрофизиологи находят в мозге животных и человека. Возникает множество интересных задач, связанных с разработкой методов

синтеза схем на базе АКП. К ним, в частности, относятся синтез схем, реализующих частичные алфавитные операторы, синтез вполне конечных автоматов, разработка специализированных схем для автоматической обработки текстов.

АКП наводит на определенные размышления и по поводу методов программирования будущих вычислительных машин. Если мысли – это конечные предикаты, а мыслительная деятельность – процесс решения уравнений АКП, то отсюда вытекает возможность полного отказа от внешнего программирования вычислительных машин. Для того, чтобы человек мог решать определенные задачи, например, школьник мог решать задачи по физике, нет надобности каждый раз снабжать его специальной программой действия. Школьнику лишь сообщаются условия задачи: например, из пункта А в пункт В выехал велосипедист, расстояние такое-то, время такое-то и т.д., т.е. школьнику сообщаются только связи, присутствующие в задаче, иными словами, ему задается некоторая система отношений. Эти отношения школьник переводит на язык алгебраических уравнений, а затем решает полученные уравнения и таким способом приходит к решению задачи. У школьника имеется «внутреннее программное обеспечение» в виде умения составлять уравнения и решать их, что вполне достаточно для решения задачи.

Если следовать этой аналогии, то вычислительную машину достаточно будет снабдить только внутренним программным обеспечением, которое могло бы переводить условия задачи, поступающее в машину, с естественного языка, удобного человеку, на язык уравнений, удобный машине, и могло бы решать получаемые уравнения. При этом никакие другие программы пользователю ЭВМ не потребуются. При таком подходе мощь систем машинного интеллекта будет определяться лишь тем, какова предельная сложность уравнений АКП, которые способны эффективно обработать данная система машинного интеллекта.

Описанный подход к программированию порождает массу интереснейших задач. Нужно, к примеру, научиться выражать на языке АКП отношения, заключенные во фразах естественного языка, а также смысл слов и понятий, которыми пользуется человек. Важна и обратная задача: научиться переводить выражения АКП на естественный язык, транслировать формулы с высокого уровня абстракции на более низкий и наоборот.

2. Метод сравнения

Одна из важнейших задач теории интеллекта состоит в том, чтобы суметь добраться физическими методами до субъективных состояний человека. Мысли человека, его ощущения, восприятия, пред-

ставлення – все это субъективные состояния. Точные знания о них необходимы в теории интеллекта. Но субъективные состояния человека идеальны, нет возможности их физического измерения. Если окажется, что мысли, восприятия и представления человека недоступны объективному исследованию, то вся теория интеллекта повисает в воздухе, становится бездоказательной. Например, выше утверждалось, что мысли – это не что иное, как конечные предикаты. Но если этого нельзя будет доказать физическим экспериментом, то все подобные заявления останутся всего лишь предположениями.

К счастью, теория интеллекта располагает общим методом объективного физического изучения психологических состояний человека, в том числе его ощущений, восприятий, представлений, понятий и мыслей. Это – метод сравнения [3], который основан на понятии конечного предиката.

Согласно этому методу сам человек выполняет роль экспериментальной установки. В опыте испытуемому предъявляются внешние физические предметы – зрительные картины, звуки, фразы, тексты и т.п. Испытуемый их воспринимает и реагирует на них двоичным ответом «да» или «нет», руководствуясь специальным заданием исследователя. Этим своим поведением испытуемый реализует некоторый конечный предикат. Свойства этого предиката экспериментально изучаются и математически формулируются.

Исследователь всегда может дать такое задание испытуемому, чтобы из свойств реализуемого им предиката можно было логически вывести математическое описание изучаемых субъективных состояний испытуемого, а также найти вид функции, лежащей в основе преобразования физических предметов в порождаемые ими субъективные образы.

Выводы

Таким образом, параметры внутреннего мира человека могут быть объективно, хотя и косвенно, измерены. Именно таким путем было, например,

установлено, что цветовые ощущения человека можно формально представить в виде трех чисел, которые получаются в результате интегрирования спектров соответствующих световых излучений с определенными весовыми функциями. Точно так же можно доказать, что наши мысли – это конечные предикаты вполне определенного вида и найти вид функций, преобразующей тексты в соответствующие им мысли. Некоторые результаты на этом пути уже получены.

Вообще, как показывает история развития науки, любое физическое исследование, имеющее целью математическое описание законов природы, всегда дается ценой очень большого труда. Другого пути, к сожалению, в науке нет. Этим же ограничениям подвержены и исследования в области теории интеллекта. Преодолеть эти ограничения можно лишь расширением фронта работ в данной области. Как показывает опыт уже проведенных исследований, такое расширение вполне возможно.

Список литературы

1. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. - Х.: «Вища школа». Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 142 с.
2. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. - М.: Книга по Требованию, 2012. – 369 с.
3. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Монография – Х.: «Вища школа». Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 160 с.
4. Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики. - М.: Наука, 1979. – 560 с.
5. Гильберт Д. Основания геометрии. - М.: Книга по Требованию, 2012. – 184 с.
6. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Технические средства. - Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 134 с.

Надійшла до редколегії 28.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ТЕОРИИ ИНТЕЛЕКТУ

Ю.П. Шабанов-Кушнаренко, С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Л.В. Шабанова-Кушнаренко

У роботі обговорюються перспективи і актуальні напрями розвитку теорії штучного інтелекту. Показана необхідність розробки біоніки - науки, що вивчає існуючі в природі механізми і явища інтелектуальної діяльності. Обґрунтована доцільність застосування апарату алгебри скінченних предикатів і методу порівняння.

Ключові слова: штучний інтелект, біоніка, алгебра скінченних предикатів, метод порівняння.

ABOUT THE THEORY OF INTELLECT PROSPECTS

Yu.P. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. Shabanov-Kushnarenko, L.V. Shabanova-Kushnarenko

Prospects and actual directions of artificial intelligence theory development come into question in-process. The necessity of development of bionics is shown - science studying existing in the wild mechanisms and phenomena of intellectual activity. Expediency of finite predicates algebra apparatus and method of comparison application is reasonable.

Keywords: artificial intelligence, bionics, algebra of finite predicates, method of comparison.

Кібернетична безпека

УДК 004.49.5

В.Л. Бурячок¹, С.А. Смирнов²

¹ Государственный университет телекоммуникаций, Киев

² Кировоградский национальный технический университет, Кропивницкий

МЕТОД БЕЗОПАСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА БАЗОВОМ МНОЖЕСТВЕ ПУТЕЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТАДАНЫХ В ОБЛАЧНЫЕ АНТИВИРУСНЫЕ СИСТЕМЫ

Данная статья посвящена разработке метода безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в облачные антивирусные системы. Отличительной особенностью метода является реализация алгоритма формирования множества маршрутов передачи метаданных при введении показателей оптимизации и ограничений безопасной маршрутизации.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационные сети, облачные антивирусы.

Постановка проблемы исследования

Авторами предложен метод безопасной маршрутизации метаданных в облачные антивирусные системы. Основными составляющими метода являются: алгоритмы формирования множества маршрутов передачи метаданных; способ контроля линий связи ТКС; модели системы нейросетевых экспертов безопасной маршрутизации.

Данная статья посвящена разработке метода безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в облачные антивирусные системы на основе алгоритмов формирования множества маршрутов передачи метаданных.

Отличительной особенностью алгоритмов формирования множества маршрутов передачи метаданных является показатели оптимизации и вводимые ограничения безопасной маршрутизации.

Анализ процесса функционирования телекоммуникационной системы, а также исследования процессов формирования, передачи и обработки метаданных в облачных антивирусных системах [1-17], позволили определить плотность распределения вероятностей времени передачи хеш-файла метаданных в облачные антивирусные системы, а также обработки и доставки команд передачи управления, сформировать и математически формализовать знания об изменениях и характере поведения основных вероятностно-временных показателей качества обслуживания в телекоммуникационной системе.

Как было указано в [11-17], обмен метаданными между программным клиентом и сервером, в общем случае, осуществляется через транзитные маршрутизаторы, последовательность которых на пути от отправителя к получателю в рамках работы определим как маршрут [11-17].

Пусть $\mathfrak{R} = \{V_n \mid n \in 1, N\}$ – множество маршрутизаторов в ТКС, V_n – n -й маршрутизатор, $N = |\mathfrak{R}|$ – число маршрутизаторов, $\mathfrak{T} = \{\theta_\xi \mid \xi \in 1, \Theta\}$ – множество каналов связи в ТКС, где θ_ξ – ξ -й канал связи, Θ – количество каналов связи в ТКС, $|Z|$ – мощность множества Z .

Информационные пакеты метаданных для анализа программному серверу могут быть переданы по одному из маршрутов, составляющих множество $\mathfrak{S} = \{\eta_s \mid s \in 1, M\}$, где $\eta_s = \{\theta_{s,c} \mid \theta_{s,c} \in \mathfrak{T}; c \in 1, \Theta\}$ – s -й маршрут, $s \in 1, M$, $|\eta_s| = \Psi_s$, M – количество маршрутов, $\theta_{s,c}$ – канал связи с номером c , который принадлежит s -му маршруту, Ψ_s – количество каналов связи на s -м маршруте.

Формирование множества \mathfrak{S} маршрутов представляет собой сложный итерационный процесс, состоящий в выполнении нескольких алгоритмов:

- алгоритм поиска кратчайших путей между узлами в ТКС;
- алгоритм формирования базового множества маршрутов передачи метаданных;
- алгоритм безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в программный сервер.

Выбор алгоритма поиска кратчайших путей между узлами в ТКС

Проведенные исследования показали, что решение задачи поиска кратчайших путей лежит в плоскости решения общей задачи маршрутизации метаданных в облачные антивирусные системы. Поэтому одним из необходимых условий является использование выбора базового алгоритма поиска

кратчайших путей является минимизация вычислительной сложности, которая во многом задается числом операций сравнения.

Проведенные исследования и анализ известных алгоритмов поиска кратчайших путей [1, 4, 11-17] показали, что одним из наиболее оперативных алгоритмов, отвечающих заданным требованиям ($O(n^{2^n})$) является алгоритм D'Esopo-Папе. Эффективность этого алгоритма подтверждается с одной стороны результатами исследований ряда авторов [1, 4, 11-17], а с другой стороны результатами экспериментов, проведенных с помощью имитационной модели.

Внешний вид интерфейса основной программной компоненты (основного поля) имитационной модели представлен на рис. 1.

В ходе моделирования выполнялись имитационные процедуры функционирования ТКС с различной топологией и количеством узлов \bar{N} от 100 до

2000. Вес отдельных линий связи соответствовал возможной остаточной пропускной способности реальных каналов связи.

На рис. 2 представлены результаты исследования известных алгоритмов поиска кратчайших путей в виде графиков зависимости числа операций сравнения от числа вершин графа.

Из графиков рис. 2 видно, что алгоритм D'Esopo-Папе имеет преимущества по сравнению с известными алгоритмами Дейкстры и Беллмана-Форда.

Для подтверждения достоверности полученных результатов были проведены расчеты, соответствующие условиям моделирования:

- степень связности сети выбиралась случайным образом в рамках диапазона: от 5 до 10;
- число экспериментов на каждом из этапов, который характеризуется количеством узлов ТКС $\bar{N} = 100$.

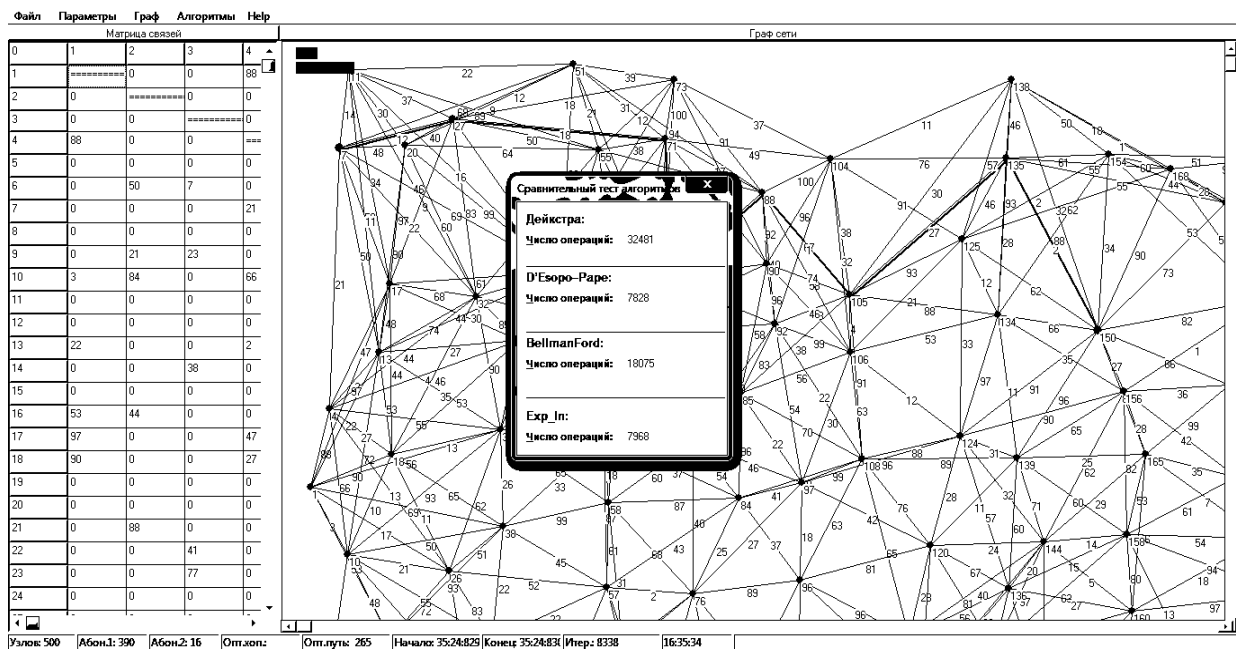


Рис. 1. Внешний вид интерфейса основной программной компоненты имитационной модели ТКС

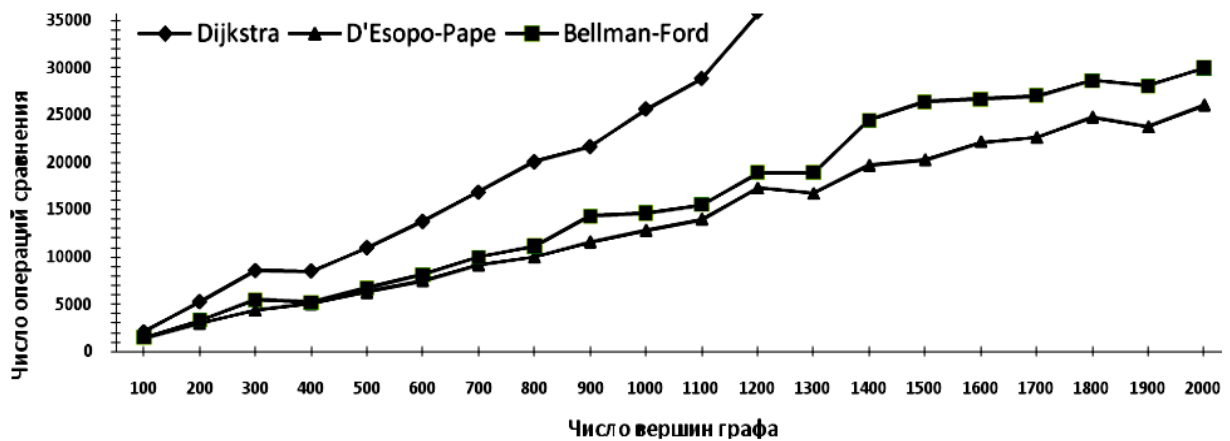


Рис. 2. Графики зависимости числа операций сравнения от числа вершин графа для различных алгоритмов поиска кратчайших путей

Выдвинутая в работе гипотеза о нормальном распределении случайной величины числа операций сравнения в алгоритмах была проверена по критерию согласия χ^2 Пирсона [3]:

$$\chi^2 = N^* \sum_{i=1}^k (P_i^* - P_i)^2 / P_i,$$

где k – число разрядов (интервалов) статистического ряда, P_i^* и P_i – «статистическая» и теоретическая вероятности «попадания» величины среднего числа операций сравнения в i -й разряд.

Проведенная проверка доказала правдоподобность гипотезы о том, что величина числа операций сравнения распределена по нормальному закону.

Получены оценки $w(\bar{\xi})^{(i)}$ математического ожидания и $\hat{D}_{w(\bar{\xi})^{(i)}}$ дисперсии ($\hat{\sigma}_{w(\bar{\xi})^{(i)}}$ средне-квадратического отклонения) случайной величины числа операций сравнения $w(\bar{\xi})^{(i)}$ [3]:

$$\begin{aligned} \hat{w}(\bar{\xi})^{(i)} &= \sum_{i=1}^k \bar{w}(\bar{\xi})^{(i)} / N^*; \\ D_{w(\bar{\xi})^{(i)}} &= \sum_{i=1}^k (w(\bar{\xi})^{(i)} - \hat{w}(\bar{\xi})^{(i)})^2 / (N^* - 1); \\ \hat{\sigma}_{w(\bar{\xi})^{(i)}} &= \sqrt{\hat{D}_{w(\bar{\xi})^{(i)}}}. \end{aligned}$$

Воспользовавшись известным выражением для расчета доверительной вероятности отклонения относительной частоты от постоянной вероятности в независимых испытаниях, полученное в результате эксперимента значение прогнозируемого числа операций сравнения «не отклониться» от математического ожидания $\hat{w}(\bar{\xi})^{(i)}$ более чем на 1:

$$P\left(\left|\hat{w}(\bar{\xi})^{(i)} - w(\bar{\xi})^{(i)}\right| < 1\right) = 2\Phi\left(1 / \hat{w}(\bar{\xi})^{(i)}\right),$$

где Φ – функция Лапласа вида:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt \quad [3].$$

Поведенное имитационное моделирование показало, что для всех исследуемых видов данных доверительная вероятность того, что значение статистической величины $w(\bar{\xi})$ «не отклониться» от математического ожидания $w(\bar{\xi})$ более чем на 1 равно: $P \approx 0,98$. Высокая степень совпадения результатов имитационного моделирования подтверждают достоверность результатов анализа алгоритмов поиска кратчайших путей.

Таким образом, можно отметить целесообразность использования алгоритма D'Esopo-Pape в качестве базового при поиске кратчайших путей между узлами в ТКС.

Алгоритм формирования базового множества маршрутов передачи метаданных

Для нахождения множества маршрутов, исключающих «петли» в рассматриваемом алгоритме используются процедуры, представленные на рис. 3.

Пусть программный клиент облачной антивирусной системы инсталлирован на некотором узле i , относительно которого существуют множества:

$U = \{u_\alpha \mid \aleph(u_\alpha) \subset \aleph\}$ – уровней иерархии на дереве допустимых маршрутов;

$$\aleph_{\text{баз}} = \bigcup_{u_\alpha=1}^{|U|} \aleph(u_\alpha) \text{ – искомым путей передачи}$$

метаданных;

$\aleph_{\text{вб}} \subset \aleph_{\text{баз}}$ – множество маршрутов передачи метаданных, выбранных из множества $\aleph_{\text{баз}}$ для повышения безопасности, где u_α – номер уровня иерархии.

Выдвинутые предположения, а также основные процедуры рассматриваемого алгоритма формирования базового множества маршрутов передачи метаданных позволяют сформулировать оптимизационную задачу повышения оперативности передачи метаданных в пределах множества маршрутов $\aleph_{\text{вб}}$:

$$T_{\text{тс}}(\aleph_{\text{вб}}) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$|U| = \{u_\alpha \mid \aleph(u_\alpha) \subset \aleph\}; \quad (2)$$

$$\aleph_{\text{баз}} = \bigcup_{u_\alpha=1}^{|U|} \aleph(u_\alpha), \quad |U| \geq 1, \quad |U| < \max_{\eta_m \in \aleph} |\eta_m|; \quad (3)$$

$$\aleph_{\text{вб}} = \bigcup_{u_\alpha=1}^{|U|} \aleph_{\text{баз}}(u_\alpha); \quad (4)$$

$$P_{\text{без}} \geq P_{\text{без доп}}. \quad (5)$$

где $P_{\text{без доп}}$ – допустимая вероятность безопасной передачи данных.

В том случае, если не найдено ни одного распределения из множества $\aleph_{\text{вб}}$, удовлетворяющего ограничению (5), необходимо расширить $\aleph_{\text{вб}}$ путем его объединения с множеством маршрутов следующего уровня иерархии в соответствии с (1) – (4).

Следует заметить, что при решении поставленной задачи формирования базового $\aleph_{\text{баз}}$ множества маршрутов передачи метаданных известными алгоритмами поиска кратчайших путей [1, 4, 11-17] в большинстве практических случаев приходится сталкиваться с проблемой «зацикливания» данных в найденных путях («петель»). Это приводит к увеличению времени передачи информационных пакетов, а зачастую и их потере.

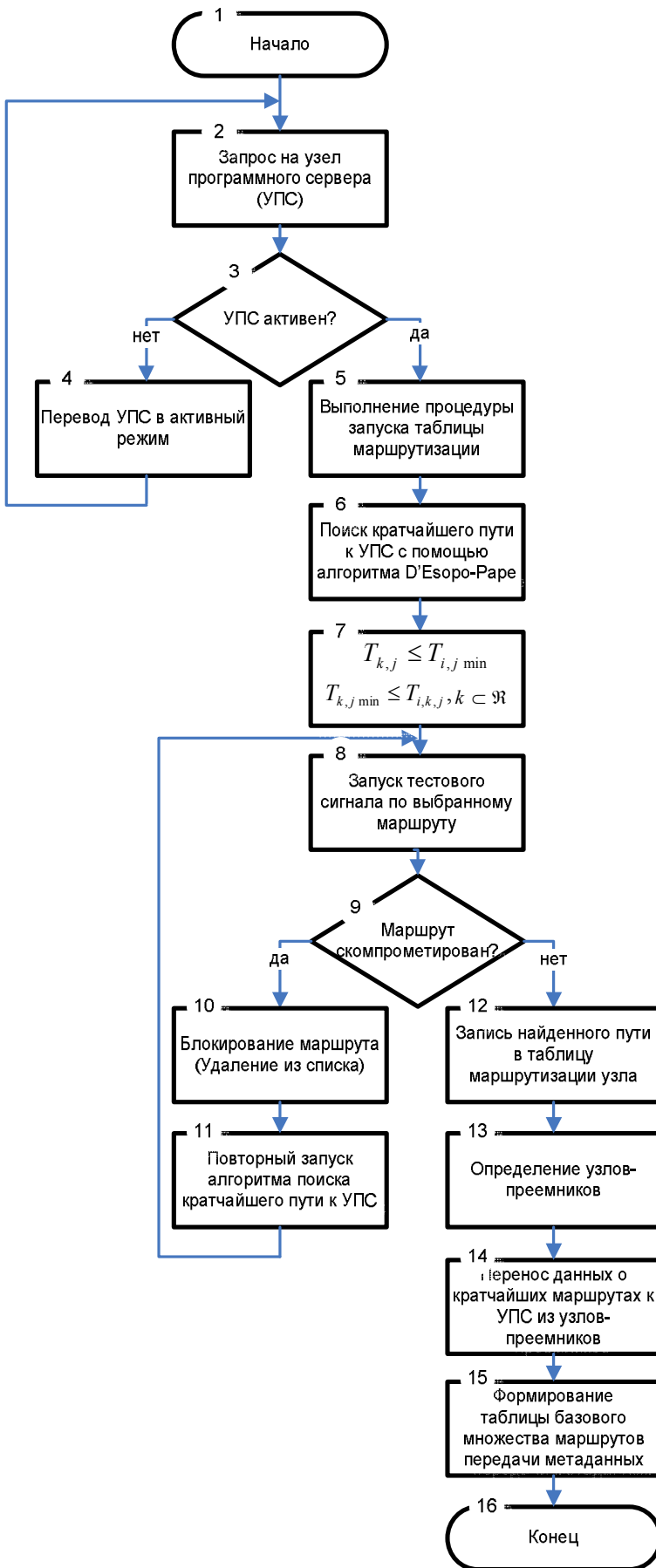


Рис. 3. Структурная схема алгоритма формирования базового множества маршрутов передачи метаданных

Избежать «петель» можно введя ограничения (условие постоянного отсутствия «петель»), представленные в виде выражений:

$$T_{k,j} \leq T_{i,j \min}; \quad (6)$$

$$T_{k,j \min} \leq T_{i,k,j}; k \in R, \quad (7)$$

где $T_{k,j \min}$ – кратчайшее «расстояние» (минимальное время передачи информационных пакетов) от узла k к адресату j ; $T_{i,k,j}$ – «расстояние» (время передачи информационных пакетов) от узла i к адресату j через узел k .

Это условие проверяется на шаге 7 рассмотренного алгоритма.

В отличие от известных алгоритмов [1, 4, 11-17] в которых не учитывается возможность компрометации (в результате кибератаки) маршрутов в разработанном алгоритме этот фактор учтен (шаги 7-11).

После того как сформировано базовое $N_{\text{баз}}$ множество маршрутов передачи метаданных необходимо проводить постоянный мониторинг каналов связи и адаптивно изменять таблицы базового множества маршрутов в случае аномальных изменений в показателях тестовых сигналов. Для решения этой задачи предназначен алгоритм безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в программный сервер.

Алгоритм безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в программный сервер

Непосредственное использование всего найденного множества $N_{\text{баз}}$ путей передачи метаданных алгоритмом, предложенным в предыдущем подразделе, не всегда возможно и оправдано. Это становится особенно очевидно в случае высокой пропускной способности хотя бы нескольких из имеющихся каналов связи, способных обеспечить выполнение требований при передаче метаданных в узлы программного сервера.

Расширение такого множества приводит к увеличению таблиц маршрутизации узлов связи, усложнению процесса распределения данных и, как следствие, к снижению достоверности передачи и информационной безопасности. Поэтому возникает необходимость в нахождении такого множества маршрутов, использование которого в условиях накладываемых ограничений позволит обеспечить максимально возможную информационную безопасность, т.е. в мониторинге каналов связи и выборе из всего найденного множества $\mathcal{N}_{\text{баз}}$ путей некоторой (оптимальной) совокупности $\mathcal{N}_{\text{вб}}$ маршрутов.

Современные требования к качеству предоставляемых услуг в ТКС задаются в параметрическом виде, системой ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{иск}} \leq P_{\text{иск, доп}}, Q_c \geq Q_{\text{доп}}, \\ T \leq T_{\text{доп}}, P_{\text{без}} \geq P_{\text{без, доп}} \end{array} \right\},$$

где $P_{\text{иск, доп}}$ – допустимая вероятность искажения информационных пакетов в процессе передачи; $Q_{\text{доп}}$ – допустимая вероятность приема информационного пакета за время T , не превышающее допустимое.

В то же время, в условиях повышенной киберопасности при передаче и обработке метаданных в облачных антивирусных системах, вероятность $P_{\text{без}}$ безопасной передачи данных является одним из определяющих показателей. При этом, задача безопасной маршрутизации данных трансформируется в частную оптимизационную задачу вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{без}} \rightarrow \max, \text{ при} \\ P_{\text{иск}} \leq P_{\text{иск, доп}}, T \leq T_{\text{доп}}, Q_c \geq Q_{\text{доп}} \end{array} \right\}. \quad (8)$$

В таких условиях алгоритм безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в программный сервер можно представить в виде рис. 4.

Характерной особенностью алгоритма является возможность постоянного мониторинга и учета характеристик каналов связи ТКС на маршрутах в узел программного сервера (шаги 2-7).

Именно поэтому одной из основных задач безопасной маршрутизации является определение и учет характеристических параметров линий связи,

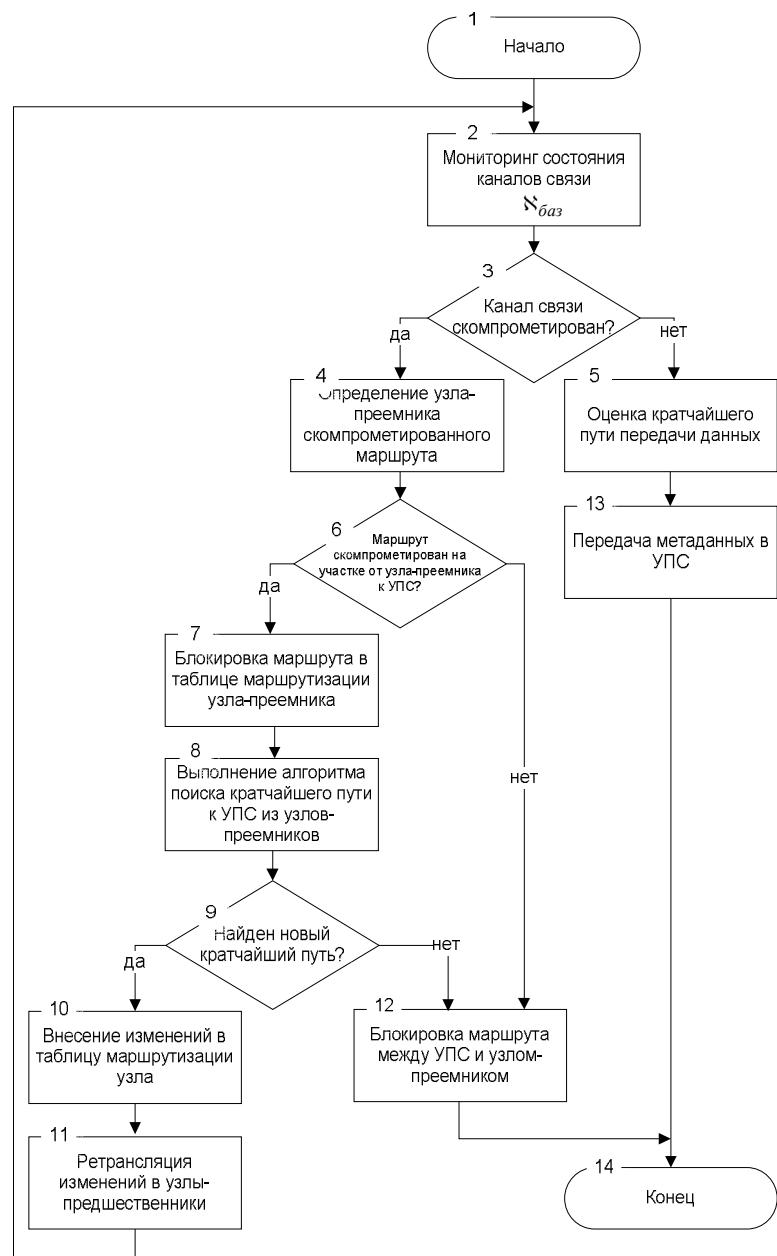


Рис. 4. Структурная схема алгоритма безопасной маршрутизации на базовом множестве путей передачи метаданных в программный сервер

определяющих возможность кибератаки и несанкционированного доступа в ТКС.

Выводы

Таким образом, в работе разработаны алгоритмы формирования множества маршрутов передачи метаданных, которые являются частью метод безопасной маршрутизации метаданных в облачные антивирусные системы. Решение оптимизационной задачи выбора и формирования базового множества путей передачи данных проведено по критерию минимума времени передачи метаданных на узел программного сервера. В то же время решение частной оптимизационной задачи формирования множества выбранных маршрутов осуществлялось по крите-

рию максимума вероятности безопасной передачи данных.

Список литературы

1. Narvfiez P. *New Dynamic Algorithms for Shortest Path Tree Computation* / Paolo Narvfiez, Kai-Yeung Siu, Hong-Yi Tzeng // *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 8, NO. 6, DECEMBER 2000* / Электронный вариант Режим доступа: http://akira.ruc.dk/~keld/teaching/algorithmdesign_f08/Artikle r/07/Narvaez00.pdf.

2. Партыка С.А. *Метод ускоренной коррекции spt с использованием динамических алгоритмов* / С.А. Партыка // Электронный вариант Режим доступа: http://openarchive.nure.ua/bitstream/123456789/936/1/ASU_158_2012%20%2842-47%29.pdf.

3. Гмурман В.Е. *Теория вероятностей и математическая статистика* / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2004. – 479 с.

4. Семенов С.Г. *Защита данных в компьютеризированных управляющих системах* / С.Г. Семенов, В.В. Давыдов, С.Ю. Гавриленко. – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG (Саарбрюккен, Германия), 2014. – 236 с.

5. Семенов С.Г. *Разработка распределенного метода многопутевой маршрутизации, основанного на потоковой модели с предвычислением путей (маршрутов)* / С.Г. Семенов, А.Г. Беленков, А.А. Можжаев // *Моделирование та інформаційні технології*. – К.: ИПМЕ ім. Г.Є.Пухова, – 2005. – Вип. 32. – С.189-192.

6. Манько А. *Защита информации в волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа* / А.Манько, В. Котюк, М. Задорожний // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*" Вип.2, 2001 р. С.249-255

7. *Все об оптоволокне (подборка из статей)* / Электронный вариант Режим доступа: http://pst-proekt.ru/tech/vse_ob_optovokne.pdf

8. Лавренков Ю.Н. *Разработка алгоритма адаптивной маршрутизации на основе нейронечеткого иммунного подхода* / Л.Г. Комарцова, Ю.Н. Лавренков // *Сборник трудов десятого международного симпозиума «Интеллектуальные системы»*, с.272 -276, Москва 2012 г.

9. Лавренков, Ю.Н. *Нейронечеткий иммунный алгоритм для оптимизации параметров радиально-базисной нейронной сети* / Ю.Н. Лавренков // *Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции - Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитии инновационной деятельности в ВУЗЕ, Т. 2, с.217 - 221, 2011 год, М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана.*

10. *Обзор научно-технической литературы по АРТ-методам* / Электронный вариант Режим доступа: http://fullref.ru/job_7d20c5db5ea838ce3ad648ed743a4630.html.

11. Смирнов С.А. *Сравнительные исследования математических моделей технологии распространения компьютерных вирусов в информационно-телекоммуникационных сетях* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, С.А. Смирнов // *Збірник наукових праць "Системи обробки інформації"*. – Випуск 9(125). – Х.: ХУПС – 2014. – 105-110.

12. Смирнов С.А. *Математическая модель интеллектуального узла коммутации с обслуживанием информационных пакетов различного приоритета* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, Н.С. Якименко, С.А. Смирнов // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Вип. 4 (41)*. – Х.: ХУПС, 2014. – С.48-52.

13. Смирнов С.А. *Исследование показателей качества функционирования интеллектуальных узлов коммутации в телекоммуникационных системах и сетях* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, Н.С. Якименко, С.А. Смирнов // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – № 4(17). – Харків: ХУПС. – 2014. – С.90-95.

14. Смирнов С.А. *Усовершенствованный алгоритм управления доступом к «облачным» телекоммуникационным ресурсам* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, Н.С. Якименко, С.А. Смирнов // *Системи обробки інформації*. – Випуск 1(126). – Х.: ХУПС – 2015. – С. 150-15

15. Smirnov S.A. *Method of controlling access to intellectual switching nodes of telecommunication networks and systems* / A.A. Smirnov, Mohamad Abou Taam, S.A. Smirnov // *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*. – Volume 5, Issue 5. – India. Delhi. – 2015. – P. 1-7.

16. Смирнов С.А. *Анализ и исследование методов управления сетевыми ресурсами для обеспечения антивирусной защиты данных* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, С.А. Смирнов // *Системи озброєння і військова техніка*. – Випуск 3(43) – Х.: ХУПС – 2015. – С. 100-107.

17. Смирнов С.А. *Исследование эффективности метода управления доступом к облачным антивирусным телекоммуникационным ресурсам* / Мохамад Абу Таам Гани, А.А. Смирнов, С.А. Смирнов // *Наука і техніка ПС ЗС України*. – № 3(20). – Х.: ХУПС. – 2015. – С. 134-141.

Надійшла до редколегії 19.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

МЕТОД БЕЗПЕЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА БАЗОВІЙ МНОЖИНІ ШЛЯХІВ ПЕРЕДАЧІ МЕТАДАНИХ У ХМАРНІ АНТИВІРУСНІ СИСТЕМИ

В.Л. Бурячок, С.А. Смирнов

Дана стаття присвячена розробці методу безпечної маршрутизації на базовій множині шляхів передачі метаданих в хмарні антивірусні системи. Відмінною особливістю методу є реалізація алгоритму формування множини маршрутів передачі метаданих при введенні показників оптимізації і обмежень безпечної маршрутизації.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційні мережі, хмарні антивіруси.

METHOD SAFE ROUTE TO BASE MANY WAYS METADATA TRANSMISSION IN THE CLOUD ANTIVIRUS SYSTEM

V.L. Buryachok, S.A. Smirnov

This article is dedicated to the development of secure routing method in the base set of metadata transmission paths in the cloud antivirus system. A distinctive feature of this method is to implement the algorithm of forming a plurality of metadata transmission routes with the introduction of indicators to optimize and secure routing restrictions.

Keywords: information and communication networks, cloud antivirus.

УДК 004.057.4

М.І. Главчев, О.І. Баленко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАХИСТУ КОМЕРЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Розглянуто формування програмного комплексу захисту комерційного програмного забезпечення на основі послідовності рівнів захисту, що включають формування ключової інформації, організацію прихованої мітки, захист від відладчиків, захист від дизасемблювання, online-підтримка контролю запуску.

Ключові слова: захист програмного забезпечення, захист програмного коду, мітка захисту, захист від відладчиків, захист від дизасемблювання.

Постановка проблеми

Інформаційно-комп'ютерне суспільство розвивається все більш швидкісними темпами, обсяги використання результатів розробок професійних та аматорських програмістів вже декілька останніх років мають стабільну тенденцію к збільшенню. Слід зазначити, що визначаючи загальний спад економіки України, галузь інформаційних технологій і розробки програмного забезпечення виказує значні темпи постійного росту (у 2016р. 15-20%)[1].

Однак для більш ефективного отримання прибутку від реалізації програмних розробок необхідно встановити якісні припони «комп'ютерним піратам» та неліцензійному програмному забезпеченню. Якщо на світовому ринку у 2015 році частка неліцензійного програмного забезпечення (ПЗ) складала 39%, то на українських персональних комп'ютерах (ПК) ця частка визначена у розмірі 82% [2]. Зазначимо, що присутня тенденція до зменшення цього показника на один відсоток у рік, але у сучасний час це не є вирішенням проблеми порушення авторських прав на програмні продукти.

Наявність законодавчої бази для захисту ліцензійного ПЗ не може захистити виробника від використання його розробок у особистих («тестових», «дослідних») цілях на персональних домашніх комп'ютерах.

Вирішення питання ліцензійного використання ПЗ можливо лише за рахунок додання до програмних розробок якісного комплексу захисних програмних модулів, які максимально ускладнюють роботу «піратів» з отримання кодів доступу, реєстраційних ключів, тощо.

Загальний підхід формування захисту програмного продукту

На підставі проведено розгляду існуючих методів захисту програмного забезпечення і багаторіч-

ного досвіду виконання робіт у даному напрямку та викладання дисциплін присвячених захисту інформації [3, 4] можливо представити загальну структурну схему комплексного програмного захисту ПЗ (рис.1). Ця структурна схема містить розподілення виконання захисту на декілька рівнів, послідовність яких забезпечить високий ступень захисту програмної розробки при використанні якісних складових на кожному рівні.



Рис. 1. Структура програмного захисту

Розглянемо складові наведеної структури і визначимо з них ті, що будуть використані при формуванні програмного комплексу захисту.

Визначення складових програмного комплексу захисту

Рівень 1 – уявляє основну, найбільш значну частину системи захисту, яка відповідає за формування і перевірку ключової інформації. Ця частина додається до оригінального коду програмної розробки і є її складовою.

Рівень 1 присутній у всіх ліцензійних програмних розробках, що призначені для комерційного використання.

Забезпечення цього рівня можливо різноманітними засобами, наприклад:

- парольний захист;
- визначення характеристик ПК;
- внесення відповідних значень у файл реєстру операційної системи (ОС);
- додаткові електронні ключі;
- магнітні мітки;

тощо.

Найбільш популярний і звичайний для користувача – це парольний захист[5]. Існує багато варіантів його організації у напрямках видів паролю і алгоритмів формування перевіркової інформації. Визначення характеристик ПК використовується для визначення унікальності апаратних засобів і зазначення зв'язку з програмною розробкою. Обмеження даного засобу визначається неможливістю переносу ліцензійної копії на інший ПК з відмінними характеристиками.

Також даний засіб вимагає попереднього визначення характеристик і подальшої їх постійної перевірки. Цей засіб все ж використовується разом з парольним захистом. Слід зазначити, що електронні ключі є додатковими пристроями, які не завжди є можливість передати ліцензованому користувачу, і використовуються вони звичайно з спеціалізованими проектними системами, або з базами даних обмеженого доступу.

Магнітні мітки – це занесення у певні області носія ідентифікаційної інформації. Однак засоби ОС та антивірусні засоби стежать за такими змінами і в цілому ці засоби не уявляють проблемі їх виявлення.

Звернемо увагу на організацію файлової прихованої мітки за рахунок «округлення кластера». Цей засіб використовує обсяг вільного місця останнього кластера будь-якого файлу. В наслідок того, що довжина файлу не кратна розміру кластера, то у останньому кластері є достатньо місця для розміщення додаткової інформації. Існує проблема вибору файлів до яких буде додана прихована мітка. Пропонується використовувати файли не програм-

ної розробки, а файли ОС. Слід виключити ті файли стан яких контролюють антивірусні засоби. Треба створити перелік файлів, що відповідають визначеним вимогам, і обрати певний з них на підставі ключа підтвердження і мережних характеристик персонального комп'ютера, що забезпечить певну унікальність файлу з списку для конкретного користувача програмного продукту.

Рівень 2 виконує делікатну функцію недопущення використання засобів відлагодження програмного коду для визначення особливостей ключового захисту Рівня 1.

Зауважимо, що ці засоби не забороняють використовувати програми-відлагодники, але роблять роботу фахівця з аналізу програмного коду дуже складною [6].

Додання засобів цього рівня виконується за рахунок виконання спеціальних перевірок у засобах Рівня 1, бажано у моменти перевірки ключової інформації. До основних засобів цього рівня слід віднести наступне:

- застосування конвеєру команд процесора для зміни програмного коду;
- перевірку відповідних бітів регістру прапорів процесору для визначення роботи під програмною-відлагодником;
- контроль використання окремих переривань ОС, які можуть застосовувати програми-відлагодники.

Використання цих засобів неоднозначне. Перевірка бітів регістру прапорів процесору є досить простою задачею і обхід цього засобу нескладний. Засіб контролю використання переривань може бути обмежений ОС, що не дозволить у повному обсязі застосувати цю можливість. Застосування конвеєру команд центрального процесору, навпаки, поширюється з розвитком обсягу внутрішнього кешу команд процесору.

Основа використання цього засоби лежить у зміні коду програми під час її виконання у оперативній пам'яті і неможливості зміни цього ж фрагменту у кодї, який вже завантажений у кеш процесору (конвеєр команд).

На лістингу 1 наведений тестовий приклад, який виводить повідомлення «Test» у разі роботи без відлагодника, а при роботі під управлінням відлагодника модифікує різними засобами програмний код (заміна коду команди, заміна операнду команди, заміна фрагменту програми), що приводить к значний його зміні і зависанні самої програми.

Використання засобів Рівня 2, а особливо конвеєру команд, є дуже якісним методом, але побудова відповідного коду вимагає від розробника певного рівня знань системного програмування та архітектури процесору.

Лістинг 1

Тестовий приклад
використання конвеєру команд

```

RADIX 16
code1 segment para
assume cs:code1
pr1 proc far
    ret
pr1 endp
code1 ends
code segment para
assume cs:code, ds:code
mes db 'Test',0dh,0a,'$'
Start:
    push cs
    pop ds
    mov di, word ptr m0
    and byte ptr m1+1, 0fbh
    mov ax, 5101
    mov cx, 51
    and di, 0FF
    mov bx, offset m0-9
    push bx
    jmp near ptr m0
    call far ptr pr1
    mov ah, 4c
    int 21h
m0:
    aaa
    or ax,0ea
    push ds
    pop es
    cid
    jmp short m1
m1:
    repz scasw
    ret
code ends
end start

```

На Рівні 3 у програмному комплексі захисту бути виконане перетворення деяких фрагментів коду для забезпечення неефективного статичного вивчення складових захисту [7]. Основні методи Рівня 3 наступні:

- шифрування усього коду програмної розробки або окремих критичних елементів;
- динамічне перетворення програмного коду під час роботи ПЗ;
- заміна команд на еквівалентні по функціоналу, але виконується порушення «логічного» розуміння коду;
- боротьба з фахівцем за рахунок ускладнення програмного коду з великою кількістю програмних переходів.

Заміна команд на еквіваленти вимагає попереднього виділення додаткових байт в залежності від довжини команд заміни або довжини фрагментів коду, що будуть вставлені. Ускладнення коду – за-сіб, розширює загрузочну частину програмного

продукту і не є складним засобом, але вимагає значних додаткових затрат часу для аналізу.

Шифрування коду звичайно виконується за рахунок створення окремого бінарного модуля, який виконує первинне завантаження основної частини, яка вже зашифрована, розшифровує її та передає керування.

Шифрування коду також дозволяє захиститися від антивірусних засобів. Проблема у тому, що деякі елементи захисту можуть мати схожість з діями комп'ютерних вірусів.

Більш складним засобом є динамічне перетворення, яке виконується різними засобами: поетапне дешифрування коду в залежності від коректності отриманих попередніх результатів; модифікацію основного коду на підставі накладення за допомогою логічної операції «виключне АБО» з іншим підготовленим фрагментом коду; завантаження на «некоректний код» блоку «вірного коду» наприклад з стеку та інше.

Рівень 3 – є зовнішнім рівнем, який приховує інші. Для запобігання зміни коду файлів програмної розробки рекомендуємо виконувати перевірку цілісності файлів.

Ця перевірка повинна виконувати двома або більшою кількістю контрольних розрахунків, що пов'язано з можливістю компенсації виконаних змін.

Наприклад, контрольна сума командою додавання без переносу байтів, контрольне значення двобайтових значень операцією «виключне АБО», контрольна відмінність без позику байтів після виконання операція «логічне заперечення», тощо. Як варіант перевірки контрольного значення можливо зберігати контрольні розрахунки певних (важливих) блоків файлів для зменшення часу перевірки.

Для забезпечення ефективного функціонування програмного комплексу захисту ліцензійного ПО у сучасному Інтернет-просторі необхідно організувати online-підтримку перевірки ліцензійності ПЗ. Для виконання цього запропонована послідовність дій реєстрації програмного продукту, яка наведена на рис. 2.

На підставі ліцензійного ключа і даних користувача на сервері сертифікації (розробника) виконується формування ключа підтвердження. Рекомендується для формування ключа підтвердження використовувати хеш-перетворення і криптографічні алгоритми з відкритими ключами.

На етапі запуску програмного продукту виконується зчитування прихованої мітки і перевірка її з еталоном на сертифікаційному центрі. У якості рекомендації, слід перевіряти IP- і MAC-адреси підключення і при частій їх зміні тимчасово блокувати запуск програмного продукту для запобігання «піратському» використанню розробки.

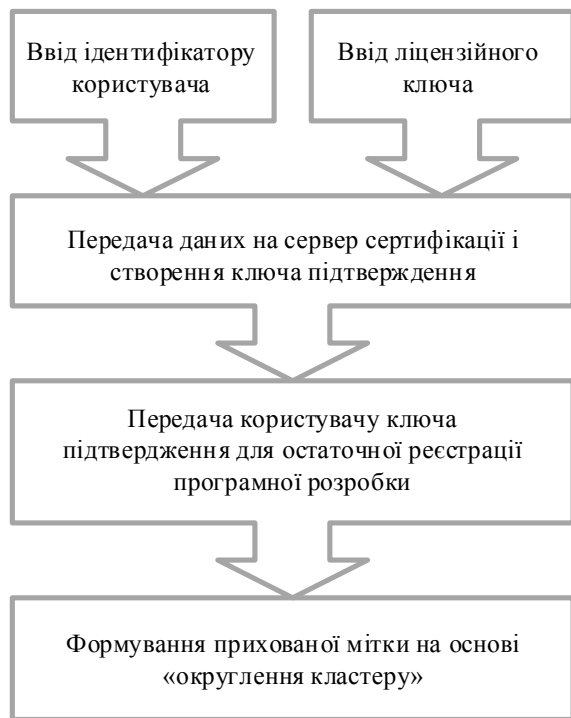


Рис. 2. Реєстрація програмного продукту

Запропонований комплекс не враховує використання у віртуальних мережах, але у майбутньому це буде вирішено за рахунок унікальних характеристик персональних комп'ютерів. Для цього треба використовувати характеристики, які найбільш стабільні у конфігурації, до яких слід віднести номер центрального процесору, характеристики материнської плати, номер жорсткого диску.

Висновки

Забезпечення перевірки ліцензійності ПЗ є обов'язковою дією для захисту авторських прав розробника. Запропонований програмний комплекс захисту програмного продукту і є засобом перевірки ліцензії ПЗ, який реалізує у повній мірі збалансовану і повноцінну послідовність засобів захисту. Ця послідовність включає: формування ключа під-

твердження на сервері розробника на підставі ліцензійного ключа і даних користувача; організація прихованої мітки за рахунок «округлення кластера»; перевірка прихованої мітки; захист коду процедур організації і перевірки прихованої мітки засобом використання конвеєра команд центрального процесору; динамічне перетворення фрагментів коду, які відповідають за роботу з організацією і перевірку ліцензійності ПЗ. Все це в цілому значно знизить нелегальне використання програмного продукту.

Список літератури

1. Игорь Беда, *GlobalLogic* Украина: К 2020 году экспорт украинского программного обеспечения может вырасти до \$10 млрд [Електронний ресурс]. URL: <http://hubs.ua/starter/i-beda-globallogic-ukraina-k-2020-godu-eksport-ukrainskogo-po-mozhet-vy-rasti-do-10-mlrd-97379.html>
2. Украинские пираты держат позиции: доля нелегального ПО в стране в 2015 году составила 82% [Електронний ресурс]. URL: <https://ain.ua/ukrainskie-piraty-derzhat-pozicii-dolya-nelitsenzionnogo-po-v-strane-v-2015-godu-sostavila-82>
3. Главчев М.И. и др. *Защит информации. Начальный пособие. Ч. 1. Защит инсталляционных програм.* Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. 164 с.
4. Методы защиты от исследования программ [Електронний ресурс]. - Режим доступа: URL: http://mf.grsu.by/UchProc/livak/axiv_22102010/kursi/zaschit/a/lections/zlec12.htm
5. Главчев М.И., Аннуров А.Д. К вопросу создания парольной защиты. *Международная научная конференция MicroCAD : Секция №21 - Информатика и моделирования - НТУ "ХПИ", 2013. - С.12*
6. Панов А. С. *Реверсинг и защита программ от взлома.* - БХВ-Петербург, 2006.
7. Алейников С. И., Богатов А. О. *Защита программ от дизассемблирования //Труды Института системного программирования РАН. - 2006. - Т. 11.*

Надійшла до редколегії 18.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЗАЩИТЫ КОММЕРЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

М.И. Главчев, А.И. Баленко

Рассмотрено формирование программного комплекса защиты коммерческого программного обеспечения на новые последовательности уровней защиты, включающих формирование ключевой информации, организацию скрытой метки, защита от отладчиков, защита от дизассемблирования, online-поддержка контроля запуска.

Ключевые слова: защита программного обеспечения, защита программного кода, метка защиты, защита от отладчиков, защита от дизассемблирования.

CREATING PROGRAM COMPLEX FOR THE PROTECTION OF COMMERCIAL PERSONAL USE

M.I. Glavchev, O.I. Balenko

The formation of complex software protection software to provide commercial-tion on a-new sequences layers of protection, including the formation of the key information, the organization of the hidden mark, protection against debuggers, anti-disassembling, of online-support to start monitoring.

Keywords: software protection, protection of software code, security label, for on-board debugger, from the disassembly protection.

УДК 004.056.5:32.019.51

Є.В. Мелешко, В.С. Гермак, С.М. Охотний

Кіровоградський національний технічний університет, Кропивницький

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТІ АКТОРІВ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ДЛЯ ЗАДАЧ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

В роботі розглянуті основні характеристики структурних позицій акторів у віртуальних соціальних мережах, а також проведено дослідження існуючих методів визначення центральності акторів. Розглянуто вплив величини центральності актора на ступінь його влади у соціальній мережі та здатність контролювати інформаційні потоки, а також здійснювати інформаційні впливи або захищатися від них.

Ключові слова: соціальні мережі, аналіз соціальних мереж, центральність, влада, інформаційні впливи

Вступ

Аналіз соціальних мереж отримує все більшу увагу у сфері інформаційної безпеки, зокрема таких її аспектів як інформаційно-психологічні впливи, інформаційне управління та протидія, а також поширення інформаційних вірусів. Вивчення соціальних мереж є новою науковою областю, яка швидко розвивається і включає в себе соціологічні, математичні, статистичні та комп'ютерні науки [1-5].

В соціальній мережі актори часто не мають достатньої для прийняття рішення інформації, або не можуть самостійно обробити її, тому їх рішення можуть бути засновані на рішеннях інших акторів – соціальний вплив. Вплив на акторів у соціальній мережі буває *цілеспрямованим* (переконання, навіювання, реклама, пропаганда тощо) та *нецілеспрямованим* (актор не має чіткої мети, може не здогадуватися про свій вплив на інших акторів) [1].

Важливим напрямком в аналізі соціальних мереж є дослідження властивостей структурної позиції актора. Найважливішою характеристикою структурної позиції актора є центральність [3-5], вона визначає важливість актора у мережі. Існують різні методи визначення центральності, що дозволяють визначити важливість акторів з різних точок зору.

Метою даної статті є дослідження основних методів визначення центральності акторів соціальної мережі для оцінки властивостей їх структурної позиції з точки зору інформаційної безпеки.

1. Структурні позиції акторів соціальних мереж

Одними з найважливіших характеристик структурної позиції актора соціальної мережі є такі:

Влада (впливовість, могутність) – характеристика місця розташування актора в соціальній мережі, що дає йому здатність впливати або напяму контролювати поведінку інших акторів, а також вказує на володіння ним певними соціальними ресурсами, які дозволяють йому контролювати потоки інформа-

ції в мережі, та (або) уникати такого контролю з боку інших акторів.

Помітність – наявність у актора прямих та опосередкованих зв'язків, що роблять його особливо видимим для інших акторів у мережі. Дана характеристика дозволяє виявити "зірок" та "ізолюваних" акторів в структурі мережі. Характеристика помітності є визначальною в побудові мережевих моделей влади та контролю за інформаційними ресурсами.

Основним показником влади та помітності є *центральність*. Центральним є актор, який залучений до великої кількості зв'язків і як їх ініціатор, і як реципієнт. Прикладами загальних методів вимірювання "центральності" є визначення центральності за посередництвом, центральності за близькістю, центральності за ступенем тощо. Перед тим як перейти до способів визначення центральностей акторів, розглянемо приклади графів трьох соціальних мереж "Зірка", "Лінія", "Кільце" [3].

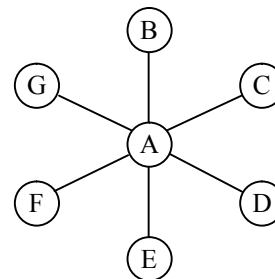


Рис. 1. Граф "Зірка"

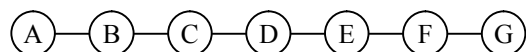


Рис. 2. Граф "Лінія"

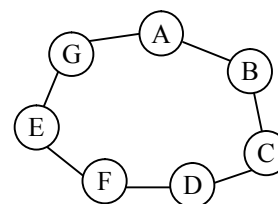


Рис. 3. Граф "Кільце"

Структурна позиція актора може відігравати важливу роль. На графі "Зірка" (рис. 1) актор А має найкращу структурну позицію, якщо дана мережа описує відносини, такі як обмін ресурсами (повідомленнями). Розглянемо переваги розміщення актора А в графі "Зірка" відносно інших випадків на основі трьох основних аспектів влади: степеня, близькості та посередництва.

Степень. Чим більше актор має зв'язків, тим вищу могутність в соціальній мережі він може мати.

У мережі "Зірка" актор А має шосту ступінь, а всі інші лише першу. Тому він має найбільшу владу. Актор А має більше можливостей у порівнянні з іншими. Якщо, з деяких причин актор С не забезпечить актора А певними інформаційними ресурсами, останній може отримати їх і від інших акторів, з якими він зв'язаний. При цьому всі інші актори мають зв'язок в даній мережі лише з актором А, який є для них єдиним прямим джерелом ресурсів.

У мережі виду "Кільце" кожен актор має однакову кількість зв'язків, тому, з точки зору рівня влади, всі актори між собою рівні.

У мережі "Лінія" актори А та G, які розташовані на кінцях мережі, мають найгірше структурне положення, тому й мають найменший рівень влади. На перший погляд може здатися, що всі інші актори знаходяться в рівних позиціях, проте це не зовсім так. Ті актори, які знаходяться ближче до центру мережі матимуть більшу владу, ніж ті, що розташовані далі, бо до них веде більше коротких шляхів.

Близькість. Другою причиною, через яку актор А володіє більшою владою у мережі "Зірка", ніж інші, є його близькість до більшої кількості акторів в порівнянні з іншими. Влада може поширюватися як через односторонній обмін інформацією між акторами (один впливає на всіх), так і через двосторонній (актори можуть впливати один на одного). Але також влада може проявлятися як орієнтир, використовуючи який актори оцінюють самі себе. В такому випадку центром уваги буде той актор, погляди якого є найбільш поширеними серед інших. Суб'єкти мережі, які здатні досягти інших за коротшими шляхами, мають більш вигідну позицію. Така структурна перевага може бути переведена у владу. На графі "Зірка" актор А має одиничну відстань до всіх інших акторів, при цьому останні знаходяться на подвійній відстані між собою. Також актор А виступає для всіх вузловим центром, через який виконується обмін інформацією.

У мережі "Кільце" кожен актор знаходиться на різній відстані один від одного, проте всі вони мають однакову поширеність фактору близькості між собою, тому в даному аспекті вони рівні між собою.

У мережі "Лінія" центральний актор D є найближчим до всіх інших і тому має найвигіднішу позицію, при цьому суб'єкти, які знаходяться на кінцях (А та G) найгіршу.

Посередництво. Третьою важливою особливістю розташування актора А у мережі "Зірка" є його розташування між парами інших акторів, при цьому ніякі інші суб'єкти між ними не знаходяться. Актор А може напряму зв'язатися з будь-яким іншим актором, при цьому усім іншим для досягнення того ж необхідне його посередництво. Це дає владу актору А контролювати потоки інформації та впливати на взаємодію інших акторів між собою.

У мережі "Кільце" кожен актор лежить між парою інших акторів. Існує два шляхи, які з'єднують кожну пару вершин і кожен третій актор лежить на одному із них. Всі учасники знаходяться в однаково вигідному положенні.

В мережі "Лінія" кінцеві точки (А та G) не лежать між іншими вершинами тому мають найгірше становище. Актори, які розташовані ближче до середини ланцюга, розташовані на більшій кількості шляхів між парами і мають вигідніше положення.

В залежності від того, який аспект влади актора використовувати для визначення центральності, бувають різні типи центральності: центральність за посередництвом, центральність за близькістю, центральність за ступенем.

Кожен з трьох аспектів влади описується з точки зору того, наскільки близько вони розташовані до центру "дії" в мережі. Тому рівень влади визначають через центральність.

2. Центральність за ступенем

Центральність за ступенем дозволяє виділити акторів, які пов'язані з максимальною кількістю інших учасників мережі (якщо актор володіє великою кількістю вихідних зв'язків, це часто вказує на його владні функції, якщо ж актор має велику кількість вхідних зв'язків це вказує на його популярність в даній мережі) [3 – 5].

Актор, який має більше зв'язків з іншими, знаходиться в більш вигідному становищі. Велика кількість зв'язків дає йому більше альтернатив для знаходження ресурсів і розповсюдження свого інформаційного впливу і, водночас, меншу залежність від кожного суб'єкта мережі.

В ненаправлених зв'язках ступінь залежить лише від кількості з'єднань з іншими акторами. Для направлених зв'язків слід розрізняти, які зв'язки актора є вхідними, а які вихідними. Суб'єкти, які мають багато вхідних зв'язків мають високий авторитет, тобто багато інших акторів прагнуть мати з ними прямий контакт. Актори, які мають багато вихідних зв'язків мають високу впливовість, бо можуть поширювати свою думку серед великої кількості суб'єктів мережі. Індекс центральності за ступенем для мереж ненаправлених відношень обчислюють як

$$C_D(n_i) = d(n_i),$$

де $d(n_i)$ - ступінь вузла n_i .

На практиці частіше використовують стандартизовану міру центральності актора за степенем:

$$C_D'(n_i) = d(n_i)/N,$$

де N – загальна кількість акторів у мережі.

В [4] пропонується враховувати центральність акторів, з якими пов'язаний поточний актор. Інколи це називають центральністю за престижністю:

$$C_P(n_i) = \sum_{i=1}^N d(n_i) \cdot C_C(n_i).$$

Центральність за степенем є ефективною для мереж із "зіркоподібним" розташуванням акторів. Але для лінійних структур її використання може призвести до помилкових висновків щодо впливовості акторів. В таких мережах вимірювання центральності доцільно здійснювати на основі близькості.

3. Центральність за близькістю

Дослідження *центральності за близькістю* дозволяє виділити акторів, через яких проходить максимальна кількість найкоротших шляхів, які сполучають між собою інших учасників мережі [3, 5].

Визначення центральності за близькістю базується на понятті *геодезичної* (найменшої) відстані між акторами – $d(n_i, n_j)$. Чим меншими є відстані від даного актора до всіх інших акторів, тим більш центральним є його розташування. Найпростішим показником центральності за близькістю є загальна сума найкоротших відстаней даного актора до інших:

$$C_C(n_i) = \sum_{i=1}^N d(n_i, n_j).$$

Центральність за близькістю дозволяє виявити користувачів мережі, що мають максимальну незалежність від інформаційних впливів інших учасників мережі. Стандартизований індекс центральності за близькістю підраховується за формулою:

$$C_C'(n_i) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{d(n_i, n_j)}.$$

Даний індекс підраховується тільки у зв'язних графах. Для ізольованих акторів $d(n_i, n_j) \rightarrow \infty$, що робить неможливим обчислення даного індексу центральності. С. Вассерман та К. Фауст, як можливий спосіб подолання вказаного недоліку, запропонували підрахування індексу центральності за близькістю з поправкою, що враховує *сферу впливу* кожного актора [5]. Сфера впливу актора включає всіх інших акторів мережі, які досяжні для даного. Індекс підраховується як

$$C_C^*(n_i) = \frac{J_i / (N-1)}{\sum d(n_i, n_j) / J_i}$$

де J_i – кількість акторів у сфері впливу актора i .

Даний індекс може бути корисним для вивчення феномену соціального кола (осіб, що є досяжними для даного актора). При цьому є можливість визначення кіл різного порядку: 1-го – особи, що мають відстань

від даної довжиною 1, 2-го – довжиною 2 і т. д. Індекс центральності за близькістю вказує наскільки актор концентрує на собі прямі та непрямі зв'язки в мережі та може розглядатись як міра незалежності актора від інформаційних впливів з боку інших учасників мережі.

4. Центральність за посередництвом

Найбільший інтерес з точки зору інформаційної безпеки являє дослідження *центральності за посередництвом*. Актори, які мають високий показник центральності за посередництвом слугують єдиною зв'язуючою ланкою між великою кількістю інших учасників мережі. Завдяки цьому вони мають високий потенціал для здійснення впливу на інших учасників мережі та можуть використовувати своє розташування як для розпалювання конфліктів між іншими учасниками мережі шляхом дезінформації так і для врегулювання конфліктних ситуацій.

Найпростішим показником центральності за посередництвом є кількість геодезичних шляхів між акторами j та k , що вміщують актора i : $g_{jk}(n_i)$ [3, 5]. Відповідний індекс центральності підраховується як

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / g_{jk},$$

де $g_{jk}(n_i)$ - шлях між акторами j та k , що вміщує актора i , g_{jk} - шлях між акторами j та k .

Максимальне значення індексу, що дорівнює $(N-1) \cdot (N-2) / 2$, зустрічається коли даний актор розташований на всіх геодезичних.

Стандартизований індекс центральності за розташуванням на найменших відстанях має діапазон значень від 0 до 1 і для мереж ненаправлених відношень підраховується за формулою:

$$C_B'(n_i) = \frac{C_B(n_i)}{[(N-1) \cdot (N-2)] / 2}.$$

Для мереж направлених відношень використовується така формула обрахунку індексу центральності за розташуванням на найменших відстанях:

$$C_B'(n_i) = \frac{C_B(n_i)}{(N-1) \cdot (N-2)}.$$

Центральність за посередництвом є мірою контролю мережевих ресурсів актором.

Але актори використовують не тільки найкоротші, а й усі інші шляхи, що їх з'єднують, пропорційно до довжини цих шляхів. Тому контроль актором інформаційних ресурсів має оцінюватись на основі усіх шляхів у мережі, на яких він розташований, а не тільки найкоротших. Ця загальна кількість шляхів називається *потокми в мережі*.

Індекс центральності за розташуванням на потоках в мережі підраховується за формулою:

$$C_f(n_i) = \sum_{i=1}^N m_{jk}(n_i),$$

де $m_{jk}(n_i)$ – це потоки між вузлами j та k , що проходять через вузол i .

Нормалізований індекс центральності за розташуванням на потоках в мережі підраховується як

$$C'_f(n_i) = \frac{\sum_{j=1}^N m_{jk}(n_i)}{\sum m_{jk}},$$

де $\sum m_{jk}$ – це сума всіх потоків між вузлами мережі (попарно), де вузол i не є початковим або кінцевим.

Даний індекс центральності дозволяє врахувати можливості здійснення актором контролю над всіма потоками мережевих ресурсів. Наприклад, в мережі є два актори, які хочуть контактувати між собою, але мають перепону у вигляді посередника, який не хоче їх з'єднувати між собою. Якщо існує, ще один шлях актори використовують його, навіть якщо він не такий ефективний як перший.

Метод потокової центральності передбачає, що в загальному випадку актори можуть використати усі доступні шляхи. В такому випадку посередництво вимірюється як частка того шляху, на якому лежить посередник відносно всього потоку (усіх шляхів, які з'єднують двох акторів). Чим менше альтернатив у двох суб'єктів, які прагнуть обмінюватися інформацією, тим вища влада посередника. Тож центральність за посередництвом дозволяє виявити акторів, що слугують містками між різними кластерами мережі та мають владу через контроль над інформаційними ресурсами. Такі актори можуть здійснювати контроль над потоками інформаційних ресурсів між різними кластерами мережі для здійснення інформаційних впливів.

Висновки

У статті розглянуто методи визначення центральності актора та способи оцінки властивостей його структурної позиції у віртуальній соціальній мережі з точки зору інформаційної безпеки. Головним показником важливості актора є ступінь його влади у мережі. Влада актора може мати різну природу: лідерство думок, незалежність від інформаційних впливів, контроль інформаційних ресурсів. Ці типи влади досягаються відповідно через високі значення показників степеня, близькості та посеред-

ництва актора. Для оцінки ступеня влади акторів у мережі обчислюються їх центральності. Центральність за ступенем найвища у лідерів думок, центральність за близькістю найвища у користувачів з високим ступенем незалежності від інформаційних впливів, центральність за посередництвом найвища у акторів з високим ступенем контролю над інформаційними ресурсами.

Дослідження структурних позицій акторів є важливими для аналізу та прогнозування інформаційних впливів у соціальних мережах. Автоматичне визначення рівнів влади акторів відносно їх структурних позицій може бути корисним в задачах виявлення та прогнозування шляхів поширення соціальною мережею вірусної інформації та інформаційних впливів, а також для виявлення вразливих місць мережі та ділянок, з яких найбільш ефективно зупинити поширення інформаційних впливів або почати поширення, напр., спростувань дезінформації.

Список літератури

1. Губанов Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: Физматлит, 2010.
2. Davern M. Social Networks and Economic Sociology: A Proposed Research Agenda for a More Complete Social Science / M. Davern // The American Journal of Economics and Sociology. – 1997. – Vol. 56, No. 3. – P. 287-302.
3. Hanneman R. A. Introduction to Social Network Methods (free introductory textbook on social network analysis). / R. A. Hanneman, M.D. Riddle – 2005. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/>
4. Bonacich P. Power and Centrality: A Family of Measures / P. Bonacich // American Journal of Sociology. – 1987. – Vol. 92, No. 5. – P. 1170-1182.
5. Жулькевська О.В. Специфіка застосування мережевого аналізу в соціології: дис. канд. соціол. наук: 22.00.02 / Жулькевська Олена Володимирівна. – Київ, 2003. – 240 с.

Надійшла до редколегії 2.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ АКТОРОВ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Е.В. Мелешко, В.С. Гермак, С.Н. Охотный

В работе рассмотрены основные характеристики структурных позиций акторов в виртуальных социальных сетях, а также проведено исследование существующих методов определения центральности акторов. Рассмотрено влияние величины центральности актора на степень его власти в социальной сети и способность контролировать информационные потоки, а также осуществлять информационные влияния или защищаться от них.

Ключевые слова: социальные сети, анализ социальных сетей, центральность, власть, информационные воздействия

RESEARCH METHODS FOR DETERMINING THE CENTRAL ACTORS IN SOCIAL NETWORKS FOR PROBLEMS OF INFORMATION SECURITY

E.V. Meleshko, V.S. Germak, S.M. Okhotnyi

The paper describes the main characteristics of structural positions of actors in virtual social networks, also existing methods for determining the centrality of actors are researched. The influence of the size of the centrality of an actor on the degree of his power in the social network and the abilities to control the flows of information, to implement informational influences and to defend against them are studied.

Keywords: social networks, social network analysis, centrality, power, informational influence

УДК 004.398.75

В.П. Шульга

Національний авіаційний університет, Київ

МЕТОД ОЦІНКИ ПОШКОДЖЕНЬ СЕРВІСІВ БЕЗПЕКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АВІАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

У статті розглянуто метод оцінки пошкодження сервісів безпеки інформаційної системи для аналізу ризиків інформаційної безпеки на базі структури авіатранспортного комплексу з урахуванням специфіки інформаційної системи. Розглянуто аспект модернізації існуючої системи авіатранспортного комплексу протягом життєвого циклу, який є вирішальним щодо забезпечення ефективності впровадження інновацій в умовах обмежень за кошти бюджету.

Ключові слова: сервіси безпеки інформаційної системи, оцінка пошкодження сервісів, авіатранспортний комплекс, аналітичний метод, цільова ефективність, інтерполяція, система масового обслуговування.

Вступ

Цілий ряд взаємопов'язаних між собою причин може призвести до порушення безпеки функціонування інформаційної системи авіатранспортного комплексу. У випадку дійсної реалізації потенційних загроз і, як наслідок, виникнення деструктивних процесів системам інформаційної безпеки завдається руйнівний вплив. В результаті функціонування інформаційної системи порушується та пошкоджуються основні сервіси безпеки: конфіденційність, цілісність, доступність, що може призвести до негативних наслідків. Опираючись на класифікацію ступенів пошкодження безпеки інформаційної системи в авіатранспортному комплексі, необхідно виробити обґрунтовані рекомендації щодо застосування заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків зниження безпеки інформаційної системи.

Основна частина

За допомогою моделей нечітких даних (когнітивних моделей) можна вирішити досить широке коло завдань, пов'язаних з прогнозуванням і підтримкою прийняття рішень та створенням реальних моделей погано формалізованих процесів. Можливість формалізації чисельно невимірних факторів та можливість використання нечіткої, суперечливої інформації є найбільшою перевагою даних моделей над іншими.

Щоб побудувати когнітивну модель нечітких множин, об'єкт дослідження зазвичай представляють у вигляді орієнтованого графа. В якості такої моделі при оцінці комплексної безпеки системи (KBS) може бути прийнятий кортеж:

$$KBS = \langle G, QL, E \rangle, \quad (1)$$

де G – орієнтований граф, що має одну кореневу вершину і не містить петель і горизонтальних ребер в межах одного рівня ієрархії:

$$G = \langle \{GF\}; \{GD_y\} \rangle, \quad (2)$$

де $\{GF\}$ – множина вершин графа (факторів або концептів в термінології НКМ); $\{GD_y\}$ – множина дуг, що з'єднують i -ую і j -ую вершини (безліч причинно-наслідкових зв'язків між концептами; при цьому дуги розташовані так, що початку дуги відповідає вершина нижнього рівня ієрархії (рангу), а кінця дуги – вершина рангу, на одиницю меншого);

$GF_0 = K$ – коренева вершина, що відповідає рівню комплексної безпеки в цілому (інтегральним критерієм безпеки – цільовим концепту); QL – набір якісних оцінок рівнів кожного фактору в ієрархії; E – система відносин переваги одних факторів іншим за ступенем їх впливу на заданий елемент наступного рівня ієрархії. Така система, як було показано вище, дозволяє визначити узагальнені на випадок уподобання / байдужості факторів по відношенню один до одного ваги Фішберна для кожної дуги GD_j . Ваги Фішберна відображають той факт, що системі спадної уподобання N альтернатив найкращим чином відповідає система, що знижується за правилом арифметичної прогресії ваг. Тому ці ваги представляють собою раціональні дроби, в знаменнику яких стоїть сума N перших членів натурального ряду (арифметичної прогресії з кроком 1), а в чисельнику – убутні на одиницю елементи натурального ряду, від N до 1 (наприклад, $3/6$, $2/6$, $1/6$). Таким чином, перевага по Фішберну виражається в убуванні на одиницю чисельника раціональної дробу вагового коефіцієнта слабшої альтернативи.

Стан системи з точки зору безпеки можна охарактеризувати матрицею B , рядки якої складаються з елементів (K_i, F_i, V_i, T_i, S) , де K_i в довільний момент часу t може бути знайдено за формулою:

$$K(t) = K_i(0) + F \cdot V_i(t / T_i). \quad (3)$$

Показники міри критичності негативних наслідків S_i фактично являють собою ваги, з якими приватні критерії безпеки K_i впливають на комплексний показник безпеки системи в цілому, який, як було показано вище, може бути знайдений в ре-

зультаті мультиплікативної згортки приватних критеріїв K_i .

Узагальнений приклад графа для комплексної оцінки безпеки інформаційної системи представлений на рис. 1. Через $Z_{\{1,2,3,\dots\}}$ позначені превентивні заходи захисту (механізми забезпечення безпеки), покликані зменшити уразливості інформаційної системи авіатранспортного Узагальнений приклад графа для комплексної оцінки безпеки інформаційної системи представлений на рис.2. Через $Z_{\{1,2,3,\dots\}}$ позначені превентивні заходи захисту (механізми забезпечення безпеки), покликані зменшити уразливості інформаційної системи авіатранспортного комплексу $UZ_{\{1,2,3,\dots\}}$, $UG_{\{1,2,3,\dots\}}$ – загрози безпеці системи, $K_{\{1,2,3,\dots\}}$ – приватні показники рівня безпеки за відповідним критерієм, K – комплексний (інтегральний) показник безпеки інформаційної системи авіатранспортного комплексу.

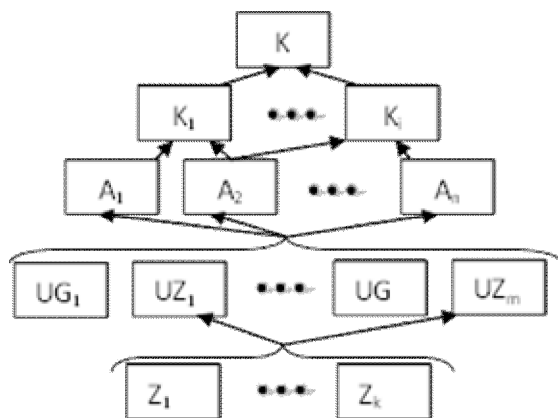


Рис. 1. Вплив факторів захисту на інформаційну безпеку авіатранспортного комплексу

Потрібно сказати, що даний зв'язний граф не є деревом, оскільки не виконується вимога відсутнос-

ті простих циклів. Це обумовлено тим, що чинники, які перебувають на нижньому рівні ієрархії, можуть одночасно впливати на кілька факторів більш високого рівня. Наприклад, застосування превентивних заходів захисту від однієї уразливості може одночасно усунути і яку-небудь іншу або привести до появи нової уразливості. Деякі атаки можуть викликати зміну відразу декількох приватних критеріїв безпеки (іноді в протилежному напрямку).

Висновки

Таким чином можна зробити такі висновки:

1. Інформаційна безпека авіатранспортного комплексу – поняття комплексне і не може розглядатися як проста сума складових її частин. Ці частини взаємозв'язані і взаємозалежні, кожна частина критично значима.

2. Оцінка рівня безпеки завжди відносна. Спроби безпосередньо приписати цій оцінці чисельне значення в більшості випадків безперспективні в плані подальшої інтерпретації результатів.

3. Для оцінки рівня комплексної безпеки інформаційної системи авіатранспортного комплексу доцільно використовувати приведену когнітивну модель.

Список літератури

1. Качинський А.Б. *Безпека, загрози, ризик. Наукові концепції та математичні методи*. Інститут проблем національної безпеки. Національна академія служби безпеки України. Київ, 2004. – 470 с.
2. Самарський А.А. Гулін А.В. *Численні методи*. М.: Наука, 1989. – 432 с.

Надійшла до редколегії 9.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ СЕРВИСОВ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВИАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА АВИАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

В.П. Шульга

В статье рассмотрен метод оценки повреждения сервисов безопасности информационной системы для анализа рисков информационной безопасности на базе структуры авиатранспортного комплекса с учетом специфики информационной системы. Рассмотрен аспект модернизации существующей системы обеспечения информационной безопасности авиатранспортного комплекса на протяжении жизненного цикла, который обеспечивает эффективное внедрением инноваций в условиях финансовых ограничений.

Ключевые слова: сервисы безопасности информационной системы, оценка повреждения сервисов, авиатранспортный комплекс, аналитический метод, целевая эффективность, интерполяция, система массового обслуживания.

METHODICAL ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEM SECURITY IN AIR-TRANSPORT BASED ON FUZZY COGNITIVE APPROACH OF THE AIR-TRANSPORT

V.P. Shulha

Method of damage assessment services for information system security risk analysis of information security based on the structure of the Air-Transport-specific information system. The aspects of the modernization of the existing system of information security of Air-Transport throughout the life cycle, which ensures effective implementation of innovations in terms of financial constraints.

Keywords: information system security services, damage assessment services, air-traffic center, the analytical method, the target efficiency, interpolation, queuing system.

Інформаційні технології

УДК 004.94

В.В. Косенко¹, Р.В. Артюх¹, О.Ю. Персіянова²

¹ ДП "Харківський науково-дослідницький інститут технології машинобудування", Харків

² ДП "ПІВДЕНДІПРОНДІАВІАПРОМ", Харків

УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ТРАФІКУ ПІДМЕРЕЖ БАГАТОРІВНЕВОЇ АДАПТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Стаття присвячена управлінню багаторівневими адаптивними інформаційно-телекомунікаційними мережами. Визначені основні принципи управління розподілом трафіку інформаційно-телекомунікаційної мережі. Сформульовані правила координації управління підмережами. Розглянуто завдання узгодження цілей управління підмережами. Обґрунтовано застосування адитивного показника якості роботи мережі, що використовує вагові коефіцієнти і показники якості роботи підмереж.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційна мережа, управління трафіком, координація управління, узгодження цілей.

Вступ

На теперішній час створена й експлуатується велика кількість систем управління мережами, що дозволяє узагальнити результати їхньої роботи й виділити загальні для них переваги й недоліки. Як показує аналіз [1, 2], досить часто основні переваги багатьох систем управління - універсальність і багатофункціональність стають у спеціалізованих системах і їхніми основними недоліками. Це зв'язано, як правило, з необхідністю враховування специфіки роботи системи, що вимагає відповідних налаштувань мережі й методів управління її роботою. У зв'язку із цим актуальним є напрямок, пов'язаний з розробкою нових інформаційних технологій управління розподілом мережного трафіка, орієнтованих на рішення заданого набору прикладних завдань і забезпечення необхідної якості їхнього рішення при застосуванні універсальних багатофункціональних систем управління, зокрема в інформаційно-телекомунікаційних мережах [3, 4]. Таким чином, удосконалювання форм і автоматизації управління дозволять багатозово підвищити ефективність застосування інформаційно-телекомунікаційних мереж.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності застосування інформаційно-телекомунікаційних мереж повинне ґрунтуватися на розробці підходів до управління мережею, які сполучають урахування специфіки розв'язуваних завдань і можливості наявних систем управління. Методи управління складними інформаційно-телекомунікаційними мережами (ІТМ) мають врахувати декомпозицію мереж на підмережі. Тому методи управління ІТМ повинні врахувати особливості управління ієрархічними системами на основі загальних принципи управління роз-

поділом трафіку інформаційно-телекомунікаційної мережі: принцип декомпозиції; принцип координації управління роботою підмереж; принцип узгодження цілей управління підмережами. Таким чином, актуальною стає задача координації підмереж, забезпечення їх узгодженого функціонування, узгодження цілей управління підмережами. **Метою даної статті** є розробка математичних моделей і методу узгодженого управління розподілом трафіку багаторівневої інформаційно-телекомунікаційної мережі.

Результати досліджень

Координація управління підмережами повинна забезпечувати узгоджене за часом управління. Необхідність узгодження пов'язана як з різницею кроків управління підмережами по тривалості, так і з обмеженням автономності управління кожною підмережею, що не завжди дозволяє вибирати початок кроку управління незалежно від стану інших підмереж. Можливі випадки, коли не можна починати новий крок управління підмережею із-за змін в інших підмережах. Так, якщо міняються базові параметри мережі, то це може привести до зміни базових станів для окремих підмереж, до зміни їх базового підпростору, і, відповідно, до зміни параметрів і цілей оперативного управління цими підмережами. Отже, можна сформулювати правило координації управління під мережами.

Правило 1. При зміні базових станів мережі процеси оперативного управління в підмережах повинні бути зупинені до тих пір, поки не буде вирішено завдання налаштування мережі при нових базових параметрах.

Після рішення задачі настройки може починатися оперативне управління підмережами.

Правило 2. Якщо змінилися параметри потоків даних між підмережами без зміни базових параметрів мережі, то не потрібно міняти управління підмережами, необхідно визначити причину зміни параметрів потоків і усунути її.

Як правило, причинами можуть бути: помилкове управління, вихід з ладу устаткування, несанкціонована зміна базових параметрів мережі.

Узгодження цілей управління. Вище наголошувалося, що не завжди оптимальне управління вирішенням окремих завдань приводить до оптимальної роботи всієї мережі в цілому. Проте надзвичайно зручно знайти таку форму постановки часткових завдань, щоб їх можна було вирішувати автономно, але результати, що отримуються, приводили б до загальної мети, тобто до оптимізації інтегрованого цільового показника якості роботи мережі.

Якщо взяти до уваги можливість декомпозиції завдання управління, то можна відмітити, що узгодження цілей управління при рішенні завдань оперативного управління підмережами можливо в рамках загального функціонала якості управління, оскільки завдання незалежні [5, 6]. Природно, що заздалегідь необхідно вирішити задачу настройки мережі, де визначиться, як підмережі зв'язані один з одним, оскільки при настройці відбувається перерозподіл загальних ресурсів. В цьому випадку доцільно використовувати додаткові критерії і обмеження, що дозволяють ослабити взаємний вплив підмереж [7]. Можливим рішенням є виділення кожній підмережі певних ресурсів, так, щоб оптимізувати показники якості роботи мережі в цілому. Цілком прийнятним рішенням може бути застосування адитивного показника якості роботи мережі, що використовує вагові коефіцієнти і показники якості роботи під мереж:

$$GT^* = \sum_i e_i \cdot GT_i^*(UN_i^*), \quad (1)$$

де e_i – ваговий коефіцієнт для показника якості роботи i -й під мережі з відповідними параметрами налагодження. При автономній роботі підмереж, (1) дає можливість обчислити оптимальне значення показника якості роботи мережі при оптимальних значеннях показників якості роботи підмереж.

Нехай кількість різних видів ресурсів, які розподіляються між групами завдань, – R . Кількість типів завдань, позначимо T . Введемо матрицю розподілу ресурсів

$$RS = \parallel rs_{ij} \parallel, \quad i = \overline{1, T}, \quad j = \overline{1, R}, \quad (2)$$

де $rs_{ij} \in [0, 1]$ – частка ресурсу виду j , виділеного завданням типу i , а для елементів матриці RS повинні виконуватися умови:

$$1. \quad \forall j \in \overline{1, R} \quad \sum_{i=1}^T rs_{ij} = 1, \quad \text{тобто кожен ресурс повністю розподіляється між завданнями.}$$

$$2. \quad \forall i \in \overline{1, T} \quad \sum_{j=1}^R rs_{ij} \geq 0, \quad \text{тобто кожне завдання}$$

може отримувати частку кожного з ресурсів.

Матриця RS дозволяє встановити, як розподіляються ресурси між завданнями і є елементом множини параметрів управління. Формуючи матрицю RS можна управляти розподілом ресурсів при здійсненні оперативного управління підмережами.

У загальному випадку, завдання оперативного управління, що пов'язане з розподілом ресурсів, може бути сформульована таким чином. **Задано** кількість типів завдань, T ; кількість видів ресурсів, R ; множина максимальних значень ресурсів кожного виду; матриця розподілу ресурсів RS ; множина вагових коефіцієнтів для часткових завдань підмережі i ; множина вагових коефіцієнтів для показників якості вирішення часткових завдань на підмережі; множина вагових (вартісних) коефіцієнтів для ресурсів, що виділяються завданням. **Знайти:**

$$GT_i^*(RS) = \text{opt}_{RS} \left(\sum_{k=1}^T b_{1k} \left(\sum_{j=1}^Q a_{1ijk} \cdot q_{jk} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (QT_{1ijk}(S_{ik})) + \sum_{m=1}^R c_{km} \cdot (rt_m)(rs_{km}) \right) \right) \quad (3)$$

при заданій системі обмежень:

$$1) \quad (rt_j)(rs_{kj}) \geq rt_{kj}, \quad j = \overline{1, R}, \quad k = \overline{1, T},$$

$$2) \quad \sum_{k=1}^L (rs_{kj})(rt_j) \leq rt_j, \quad j = \overline{1, R}.$$

Метод управління розподілом трафіку. Проведені дослідження дозволяють сформулювати метод управління розподілом трафіку, як послідовність дій, котрі необхідно виконати при підготовці та вирішенні задач управління. Метод включає такі етапи: підготовка до рішення завдань управління; рішення задачі настройки мережі; вирішення завдань оперативного управління; корекція завдань настройки і оперативного управління.

Метод передбачає виконання всіх обмежень, умов і правил, визначених вище. Після проведення перерахованих підготовчих робіт можна переходити до вирішення завдань управління розподілом трафіку. На етапі вирішення завдання настройки мережі виконуються такі кроки:

1. Визначення конкретних показників якості настройки мережі.

2. Формування і розрахунок параметрів потоків даних ієрархічної інформаційної структури мережі.

3. Визначення складу устаткування мережі.

4. Формування технічної структури мережі. В результаті виконання даного кроку формується множина значень базових параметрів мережі, також формується структура базової мережі, крім того, виділяються підмережі і їх склад.

Далі йде етап вирішення завдань оперативного управління, що припускає такі кроки.

1. Визначення показників якості роботи підмереж. На цьому кроці формується множина показників якості роботи для кожної підмережі.

2. Постановка часткових завдань оперативного управління для підмереж.

3. Вирішення завдань оперативного управління з використанням запропонованих методів.

1. Етап корекції завдань настройки і оперативного управління виникає у разі зміни базових параметрів мережі, що може заважати перенастроюванню і виробленню нових підходів до вирішення завдань оперативного управління.

Після вирішення цих завдань здійснюється перехід на етапи управління, що описані вище.

Висновки

Розглянуті цілі і завдання управління розподілом трафіку з урахуванням специфіки роботи додатків (завдань) і вимог до характеристик їх роботи, що є ознакою адаптивності мережі. Показані можливості декомпозиції мережі шляхом виділення окремих підмереж. Досліджені завдання координації при управлінні підмережами, що дозволило сформулювати правила координації управління, які дають можливість прийняти обґрунтовані рішення при управлінні підмережами. Для узгодження цілей управління запропоновано використовувати адитивні функціонали якості управління всією мережею, що включають зважені функції якості управління окремими підмережами. Це дозволяє локалізувати завдання оперативного управління. Перераховані результати дають можливість звести загальне завдання управління розподілом трафіку до сукупності завдань управління підмережами, з виконанням вимог до показників якості роботи як всієї мережі, так і окремих підмереж.

Розроблений метод застосування запропонованих математичних моделей для розрахунку параметрів потоків даних і характеристик роботи мережі при

практичній реалізації методів і принципів управління мережею. Метод визначає послідовність і склад дій мережі при вирішенні завдань настройки і оперативного управління. Всі дії згруповані по етапах, що дозволяє рознести їх в часі, забезпечити узгоджене застосування отриманих теоретичних результатів.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні складних багаторівневих адаптивних ІТМ та розробки методів управління трафіком окремих підмереж та мережі в цілому.

Список літератури

1. Теленик С.Ф. *Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі АСУ* / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов // *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка.* — 2006. — № 44. — С. 234–239.
2. Wang P., Robins G., Matous P. *Multilevel Network Analysis Using ERGM and Its Extension // Multilevel Network Analysis for the Social Sciences.* — Springer International Publishing, 2016. — С. 125-143.
3. Кучук Г.А. *Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України* / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.* — 2013. — № 3. — С. 154-158.
4. Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X. N., Obraczka, K., & Turletti, T. (2014). *A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks.* *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1617-1634.
5. Толубко В. Б. и др. *Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж // Телекомунікаційні та інформаційні технології.* — 2015. — № 4. — С. 6 – 11.
6. Кучук Г.А. *Метод оцінки характеристик АТМ-трафіка* / Г.А. Кучук // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті,* — 2003. — № 6. — С. 44-48.
7. Çetinkaya E. K. et al. *Multilevel resilience analysis of transportation and communication networks // Telecommunication Systems.* — 2015. — Т. 60. — №. 4. — С. 515-53.

Надійшла до редакції 2.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТРАФИКА ПОДСЕТЕЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ АДАПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В.В. Косенко, Р.В. Артюх, Е.Ю. Персиянова

Статья посвящена управлению многоуровневыми адаптивными информационно-телекоммуникационными сетями. Определены основные принципы управления распределением трафика информационно-телекоммуникационной сети. Сформулированы правила координации управления подсетями. Рассмотрена задача согласования целей управления подсетями. Обосновано применение аддитивного показателя качества работы сети, который использует весовые коэффициенты и показатели качества работы подсетей.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная сеть, управление трафиком, координация управления, согласование целей.

ADAPTIVE MULTILEVEL INFORMATION-TELECOMMUNICATION NETWORK SUBNET TRAFFIC MANAGEMENT DISTRIBUTION

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh, O.Yu. Persyanova

The article is devoted to management of adaptive multilevel information and telecommunications networks. The basic principles for controlling the distribution of traffic of information and telecommunications network are identified. The rules for subnets management coordination are formulated. The problem of matching subnet management is examined. The applying of the additive index of the quality of the network, which uses weights and indicators of the quality of subnets is substantiated.

Keywords: information-telecommunication network, traffic management, coordination, harmonization purposes.

УДК 004.7

Н.Г. Кучук

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І РОЗРОБОК E-LEARNING

В статті розглянуто аспекти сучасного стану методів, технологій та перспектив розвитку системи e-Learning. Досліджено проблему електронного навчання, що пов'язана з невизначеністю термінології. Проаналізовано різні комбінації інформаційних технологій, що можуть бути використані для реалізації різних методів e-Learning. Відображено архітектуру та платформи електронного навчання. Доведено, що процес впровадження електронного навчання є більш складним, ніж очікувалося, і що переваги нових технологій супроводжуються проблемами при використанні. Аналіз безлічі існуючих методів e-Learning та перспективи подальших досліджень в цій області показують необхідність впливу на розвиток освіти в особливий спосіб.

Ключові слова: методи e-Learning, технології e-Learning, архітектура e-Learning, платформи електронного навчання, види та сучасні напрями e-Learning.

Вступ

Метою даної роботи є виявлення сучасних методів e-Learning, їх аналіз та розробка інформаційно-комунікаційних освітніх технологій, визначення нових тенденцій розвитку електронного навчання.

Сучасна освіта має відмінні характеристики: інтенсивне використання в процесі навчання інформаційних технологій, що забезпечують рівноправне придбання і передачу знань, вільний доступ до навчальних матеріалів, перехід від принципу «освіта на все життя» до принципу «освіта через усе життя» – найважливішої проблеми в умовах інформаційного суспільства; розвиток соціальних і емоційних здібностей і навичок учнів; індивідуалізація процесу придбання і передачі знань. Таким чином, на рівні світового освітнього співтовариства, поряд з тенденціями глобалізації та стандартизації, визначилися основні напрями вдосконалення освітніх процесів вищої школи - інформатизація і персоніфікація.

Питання розвитку електронного навчання і самоосвіти актуальні в роботах як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Так, e-Learning в умовах сучасної економіки і педагогіки розглянуто в роботах Е. Тихомирової [13], В.В. Бовт, [3], Н. Соболевої [12], В.М. Платонова [14]. Моделям і методам e-Learning приділено велику увагу в роботах G. D'angelo [23, 24]. Огляд інформаційно-телекомунікаційних технологій e-Learning виконаний А.Ю. Рудневим [11], П. Коноваловим [9], D. Casey [22]. Однак в публікаціях не відображена цілісна картина сучасного стану та тенденцій розвитку e-Learning та самоосвіти. Необхідність використання електронного навчання в освітньому процесі розглядали А. Андреев, А. Arafteh, A.W. Bates, С. Гури-Розенбліт, Е.Д. Патаракіна, А.В. Хуторський. Проблемам і перспективам електронного навчання присвячені роботи В.С. Леднева, А.Е. Сатуніної, А.А. Ступина, Е.Е. Ступіної. Результативність і значимість електронного навчання підкреслюють А.А. Андреев, В.В. Грін-

шкун, С.Г. Григор'єв, Г. Драйдент, У. Хортон, В. Holberg та інші. Проблеми впровадження та можливості електронного навчання розглядали А. Андреев, Г. Драйдент, А.Е. Сатуніна, А.А. Ступін і Е.Е. Ступина, А.В. Хуторський та інші [1, 4, 16, 17, 20, 27].

Підхід до процесу створення середовища навчання вимагає постійного переосмислення і модернізації існуючих форм навчання. У світовій освіті відомі наступні ступені навчання: традиційне навчання (очна і заочна), дистанційне навчання, електронне навчання (e-Learning). Європейська комісія визначає e-Learning як «використання нових технологій мультимедіа та Інтернет для підвищення якості навчання за рахунок поліпшення доступу до ресурсів і сервісів, а також віддаленого обміну знаннями та спільної роботи» [15, 18, 24, 25].

Одна з проблем в дослідженні електронного навчання пов'язана з невизначеністю термінології. «З одного боку, існує безліч різних трактувань однакових за звучанням понять, з іншого боку - різним за звучанням поняттям надають однаковий сенс в описі цифрових технологій». Сьогодні багато говорять про дистанційне і віртуальне навчання, про інтернет-навчання та online-технології, а також про мобільному навчанні і т.п., проте всі ці слова виражають, по суті, різні аспекти електронного навчання. Тому термін «e-Learning», широко поширений в міжнародному науковому спілкуванні. Електронне навчання можна визначити, як цілеспрямований, організований процес інтерактивної взаємодії навчальних і що навчаються між собою і з засобами навчання, інваріантний до їх розташування в просторі і часі, який реалізується в специфічній дидактичній системі [2, 10, 27].

Результати досліджень

E-Learning – це передача знань і управління процесом навчання за допомогою нових інформаційних і телекомунікаційних технологій. Технології e-Learning дозволяють створювати електронні кур-

си, системи управління навчанням та навчальними об'єктами, системи контролю знань, а також засоби створення знань. Електронне навчання може здійснюватися на основі використання цифрових репозитаріїв – баз даних і знань, що дозволяють зберігати знання в електронному вигляді, структуровані відповідно до принципів об'єктного опису метаданими. Цифрові репозитарії дозволяють вибудовувати взаємозв'язки між об'єктами знань з можливістю контекстного пошуку. На відміну від дистанційного навчання (наприклад, з відправкою матеріалів поштою), e-Learning використовує всі переваги сучасних настільних ПК: графіку, звук, тривимірні сцени і анімацію, тренажери тощо. На відміну від комп'ютерного навчання (коли користувач працює один на один з ПК), електронне навчання має на увазі використання мережових можливостей: передачу результатів навчання викладачеві, можливості спільної роботи, консультацій та обговорення, обмін досвідом, підтримку [6, 14, 19].

Споживачами електронного навчання можуть бути як окремі студенти, школи, освітні та тренінгові установи, так і комерційні підприємства, для конкурентоспроможності яких ключове значення набуває

інтелектуальний капітал - знання і досвід співробітників. E-Learning дозволяє знаходити для навчання зручне вікно в робочому графіку, економити на транспортних витратах, охоплювати навчальними програмами безліч користувачів, створювати корпоративну середу накопичення і вдосконалення знань, забезпечувати комфортний, персоналізований стиль навчання [8].

Таким чином, виникає ще один напрямок розвитку e-Learning – електронна освіта для працівників комерційних компаній без відриву від виробництва. Використання e-Learning продиктовано необхідністю вирішення наступних проблем: реалізація потреби в первісному освіту; здійснення дистанційної освіти (початкового і післядипломної); рішення працівниками підприємства конкретного завдання без відриву від виробництва (підкачка знань); реалізація потреби в довічному освіту, підвищення кваліфікації, перепідготовки кадрів. Розвиток технології e-Learning призвело до виникнення численних методів навчання, через які реалізується дана технологія. Кожен з них (короткий опис представлено в табл. 1) характеризується трьома аспектами : роль викладача, вид взаємодії учня та викладача і учнів між собою, вид переданого або отриманого знання [7 – 9].

Таблиця 1

Методи e-Learning

Метод електронного навчання	Характеристика
Автономний e-Learning (Stand alone e-Learning)	Заснован на навчанні та перевірці знань у автономному режимі. Застосовується у самонавчанні
Допоміжний e-Learning (Assisted e-Learning)	Передбачає на відстані допомогу викладача
Сумісний e-Learning (c-Learning)	Даний метод включає в себе розширені функції Assisted e-Learning з використанням online конференцій, віртуальних класів тощо
Неформальне навчання (Informal Learning)	Даний метод навчання не передбачає по закінченню отримання підтверджуючого документа
Мобільне навчання (m-Learning)	Даний метод e-Learning заснован на використанні здебільшого мобільних технологій
Змішане навчання (b-Learning)	Передбачає суміш звичайного навчання з електронними курсами
Загально проникаюче навчання U-Learning (ubiquities Learning)	Базується на основі e-Learning та доповнено елементами m-Learning

Зважаючи на дані що відображені у таблиці, найскладніше організувати змішане навчання [22].

Аналіз публікацій, присвячених проблемам e-Learning, показав, що для реалізації методів e-

Learning можуть бути використані різні комбінації ІТ-технологій (комп'ютерне оцінювання; карти пам'яті; цифрові репозитарії; гіпермедіа; вики) і побудовані на їх основі інструменти (рис. 1) [9, 10, 12].

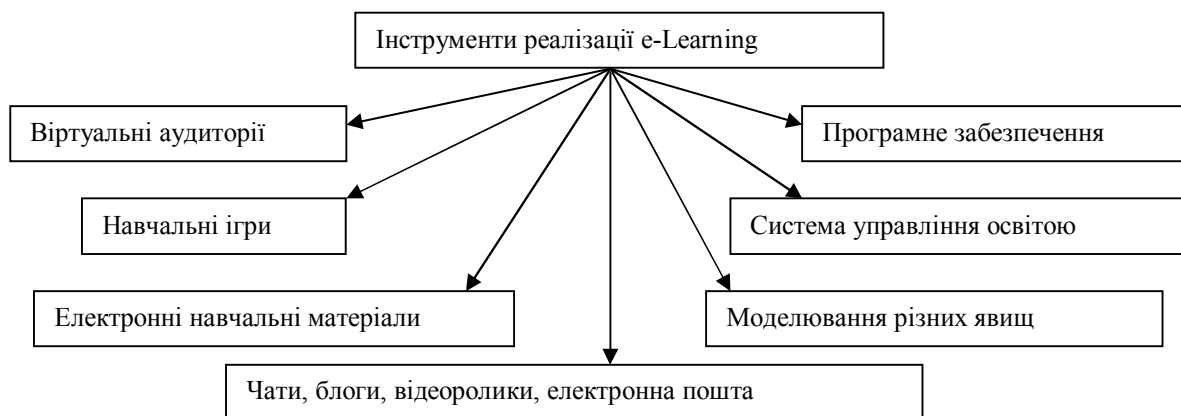


Рис. 1. Інструменти реалізації e-Learning

Ключовим фактором досягнення високих результатів навчання в e-Learning середовищі є якість наданого контенту. Контентом в e-Learning представлені навчальні матеріали, що можуть бути розподілені і доступні через мережу. Основними категоріями контенту є: структурований гіпермедіа-контент та завдання для перевірки знань [9]. Незалежно від структури і форми контенту, процес його формування в основному має загальну структуру: створення контенту, його перетворення у формати, необхідні для використання e-Learning – платформою, публікація перетвореного контенту.

В якості найбільш очевидних переваг E-Learning перед традиційним денним або заочним навчанням можна виділити гнучкість, відносно низьку вартість, відсутність додаткових витрат часу, навчання без відриву від роботи. Серед інших, не настільки очевидних переваг дослідники у сфері e-Learning відзначають наступні: установка студентом власного темпу при проходженні курсу; легке та швидке коригування контенту; більш стійке запам'ятовування інформації і тривалий час утримування в пам'яті [10, 15].

Для сучасного суспільства характерні висока активність і рухливість його учасників, тому останнім часом все більшої популярності набувають такі способи отримання знань, як m-Learning і u-Learning. Розглянемо їх більш детально. M-Learning – це передача знань на смартфон або планшетний ПК з використанням WAP або GPRS технологій. За допомогою обраного мобільного пристрою можна вийти в інтернет, скачати навчальні матеріали, відповісти на питання в форумі або пройти тест. Мета m-Learning – зробити процес навчання гнучким, доступним і більше індивідуальним. Найкращою організацією контенту для мобільного навчання є уявлення його у вигляді інтерактивних карт знань, поділ за рівнем складності, уявлення малими порціями інформації в точному контексті [5, 12]. Позитивними рисами m-Learning є: економія коштів і часу, можливість швидкого доступу до необхідної інформації без допомоги стаціонарного комп'ютера, використання освітніх ресурсів без постійного підключення до мережі Інтернет, автоматизована доставка контенту і сервісів за індивідуальним запитом, мо-

дурна організація контенту, зручність і звичність мобільного пристрою. M-Learning можна назвати перспективним видом навчання, оскільки за останні кілька років відзначені високі темпи розвитку мобільних технологій, збільшується кількість мобільних телефонів, що може гарантувати все більшої їх доступність для населення в майбутньому. Тенденції розвитку мобільних технологій говорять про подальше поліпшення якості і швидкості передачі інформації. Однією з причин успішного впровадження мобільного навчання можна назвати збільшення потреби людини в швидкому отриманні знань [14, 15].

Серед складнощів використання мобільного телефону в навчанні в даний момент можна виділити такі: висока вартість мобільних пристроїв і послуг зв'язку, неергономічними деяких компонентів смартфонів (малий розмір екрану і обмеженість клавіатури), необхідність в додатковому навчанні користувачів можливостям мобільних технологій, недостатня методична база для підготовки освітнього контенту [14].

Приймаючи за основу середу e-Learning і доповнюючи її елементами m-Learning, можна створити середовище навчання здатного всюди проникати – u-Learning [13]. U-Learning (ubiquities Learning) - всепроникаючий e-Learning - повсюдне, всюдисуща навчання, яке розвивається на базі сучасних технологій. Таке навчання дозволяє учням, використовуючи бездротовий зв'язок WiFi, в будь-якому місці завантажувати і вивчати мультимедійний освітній контент [16].

Архітектура u-Learning (рис. 2) розвивалася з архітектури e-Learning, отримавши за основу її базові складові: навчальні компоненти - містять матеріали навчальних модулів; навчальні завдання; навчальні мультимедіа компоненти – допомагають пояснювати навчальний матеріал за допомогою читання, спостереження, прослуховування аудіо-або перегляду відеоматеріалів самостійно або за допомогою особистого взаємодії "викладач – студент"; інструменти навчальної комунікації – методи, використовувані для комунікації між студентами і викладачами та між студентами; адміністративні функції - Інтернет орієнтовані додатки, що виконують різні адміністративні завдання [13].

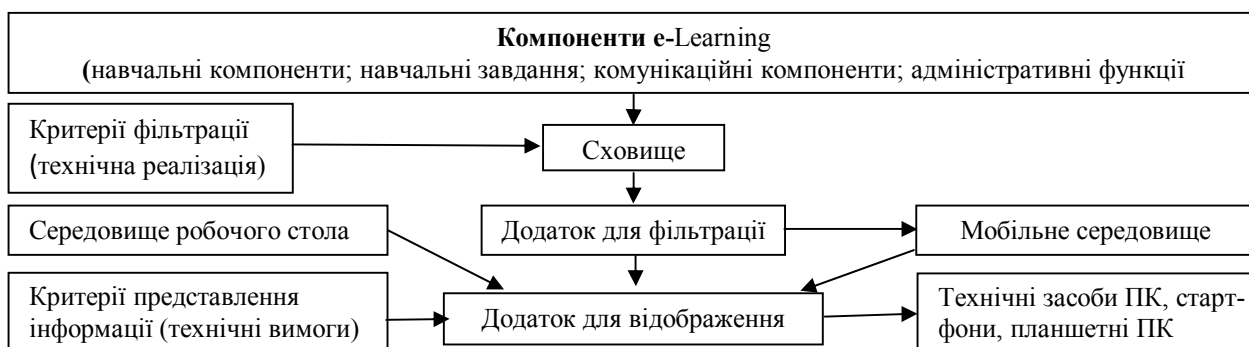


Рис. 2. Структура архітектури u-Learning

Ключовим компонентом архітектури u-Learning є сховище даних, що містить всі компоненти e-Learning. Навчальні компоненти і завдання, як правило, коротко представлені у вигляді текстової, графічної та іншої мультимедіа інформації і можуть бути використані для створення HTML-сторінок або мультимедійних додатків. Всі компоненти в залежності від їх призначення, розподіляються між технічними засобами з урахуванням особливостей браузера, платформи і технічних можливостей системи управління e-Learning [13].

Сильною стороною технології u-Learning є надання найбільш широкого спектру сучасних мобільних і комп'ютерних технологій для отримання знань. Однак, оскільки технологія u-Learning організована на стику інформаційних технологій і знаходиться на вершині сучасних освітніх процесів, вона вимагає особливої організації середовища навчання. Тому для успішного впровадження технології u-Learning в освітній процес потрібно вирішити питання нормативної стандартизації та методології такого виду освіти [22].

В. Holberg зазначив, що електронне навчання ставить студентів в центрі навчального процесу та проектування особистісно-орієнтованих програм. Він передбачає, що впровадження нових технологій спричинить за собою перетворення навчальних процесів: від провідної ролі викладача в освітньому процесі до висунення на перший план студента, і що це перетворення дозволило б студентам розвинути до більш високого рівня навички міркування, свої здібності у вирішенні проблем, пошуку інформації, комунікативні здібності, творчий потенціал, мислення тощо [12, 21, 22, 25].

Аналіз науково-методичної літератури показав, що процес впровадження електронного навчання є більш складним, ніж очікувалося, і що переваги нових технологій завжди супроводжуються проблемами [12, 19, 26]. В процесі виконання даної роботи було виокремлено наступні проблеми e-Learning :

- проблема критерію оцінювання якості електронних курсів;
- неготовність частини студентів застосовувати інфотелекомунікаційні технології з метою освіти;
- нездатність викладачів у повному складі вести процес підготовки в умовах електронного навчання;
- у навчальних закладах недостатньо фахівців в області e-Learning, що можуть забезпечити кваліфіковану підтримку викладачам і студентам в процесі навчання;
- проблема ідентифікації особистості (немає гарантії, що саме цей студент працює зі змістом курсу);
- відсутність контролю зовні;
- проблеми авторського права і пов'язане з цим небажання викладачів викладати свої ресурси у відкритий доступ;
- великі витрати на впровадження і підтримку e-Learning.

Перераховані проблеми електронного навчання набувають гостроту тільки в разі, якщо електронне

навчання буде реалізовано самостійно замість традиційного навчання. Однак як би не розвивалися інформаційно-телекомунікаційні технології, електронне навчання не зможе повністю замінити традиційну форму освіти. Тому найбільш ефективним і перспективним вважається так зване змішане навчання, засноване на поєднанні принципів і технологій e-Learning і традиційних аудиторних занять. Це передбачає використання різних форм і технологій проведення навчального процесу, що робить його різноманітним і забезпечує активну участь самого студента в процесі добування знань. Очевидним достоїнством застосовуваних в змішаному електронному навчанні технологій є те, що вони сприяють взаємодії всіх суб'єктів освітнього процесу.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Проаналізувавши різні освітні технології, спрямовані на навчання з використанням комп'ютерної та комунікаційної техніки, можна зробити висновки, що ключовою технологією є e-Learning, яка зараз стає базою для нової освітньої парадигми.

Для успішного розвитку технології e-Learning необхідно приділити особливу увагу таким факторам: підвищення якості систематичного, цілісного процесу створення засобів навчання, що включає аналіз потреб в навчанні та його цілей, прогноз результатів навчання, постановку завдання на створення засобу e-Learning, розробку цього засобу, методів і форм навчання, їх апробацію та оцінку ефективності; поданням знань у середовищі навчання з урахуванням індивідуальних потреб студента; створення нормативно - методичної бази і стандартизації; готовності викладачів і студентів до нової освітньої парадигми; мотивації студентів до отримання нових знань; забезпечення ефективного доступу до освітніх ресурсів.

Аналіз безлічі існуючих методів e-Learning та перспективи подальших досліджень в цій області показують необхідність впливу на розвиток освіти в особливий спосіб. Потрібно враховувати, що освіта є первинним, а високі технології – лише інструмент для його підтримки і розвитку. Інновації у створенні технічного інструментарію повинні служити опорою для реалізації педагогічних технологій та методів педагогічного дизайну для e-Learning.

Список літератури

1. Андреев, А.А. Дидактические основы дистанционного обучения [Электронный ресурс] / А.А. Андреев. – Режим доступа: <http://www.iel.mesi.ru/br/ogl-b.htm>.
2. Беляков В. Неудачи проектов e-Learning [Электронный ресурс] / В. Беляков, А. Козлов, Т. Кузьмина. – Режим доступа: <http://www.elw.ru/magazine/21/191>.
3. Бовт В.В. Мобильные технологии и инструменты обучения [Электронный ресурс] / В.В. Бовт. – Режим доступа: www.cpk.mesi.ru/news/2005/release008/4.ppt.
4. Галионова, Ю.А. Предпосылки возникновения дистанционного обучения в мировом образовательном

пространстве / Ю.А. Галионова // Знание, понимание, умение. – 2009. – № 2. – С. 20-24.

5. Герасименко О. Мобильное обучение: в любое время, в любом месте [Электронный ресурс] / О. Герасименко. – Режим доступа:

<http://www.trainings.ru/Library/articles/?id=6321>.

6. Дуброва Н. e-Learning – Обучение с приставкой “e” [Электронный ресурс] / Н. Дуброва. – Режим доступа: <http://www.cpk.mesi.ru/materials/articles/other08>.

7. Дмитриевская Н. Инновации в образовании Кореи через e-Learning [Электронный ресурс] / Н. Дмитриевская. – Режим доступа: <http://www.elw.ru/magazine/21/186>.

8. Электронное обучение в корпорации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.acadex.kiev.ua/website.nsf/all/p201?opendocument>.

9. Коновалов П. Стандарты и технологии e-Learning [Электронный ресурс] / П. Коновалов. – Режим доступа: <http://www.cpk.mesi.ru/news/2005/release008/6.ppt>.

10. Персианов, В.В. Дисциплина «Информационные и коммуникационные технологии в образовании». Теоретические сведения [Электронный ресурс] / В.В. Персианов, Т.В. Савкина. – Режим доступа: http://www.tspu.tula.ru/ivt/old_site/umr/ikto_site/ikto_index.htm.

11. Руднев А.Ю. Мобильные технологии обучения (Ч. 1 – Мобильные телефоны) [Электронный ресурс] / А.Ю. Руднев. – Режим доступа: <http://www.adviserjournal.com/Default.aspx?page=1593>.

12. Соболева Н. Что дает электронное обучение компании? [Электр. ресурс] / Н. Соболева. – Режим доступа: <http://www.competentium.ru/index.php?sid=press&subid=129>.

13. Тихомирова Е.В. Технологии для экономики знаний [Электронный ресурс] / Е.В. Тихомирова, В.В. Бовт. – Режим доступа: <http://www.cpk.mesi.ru/materials/articles/other03>.

14. Инновационная политика в сфере высшего образования. Факторы, влияющие на эффективность инновационной политики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.begin.ru/db/b2/CD97ACA1AEDB90EDC3256BBA002A160B/doc.html>.

15. E-learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/E-learning>.

16. Arafeh, S. The implications of information and communications technologies for distance education: Looking toward the future. Final Report / S. Arafeh. – Arlington, VA: SRI

International, 2004. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.198.4829&rep=rep1&type=pdf>.

17. Bates, A.W. Distance education in a knowledge-based society / A.W. Bates // A keynote address in the ICDE Conference on The Metamorphosis of Distance Education in the Third Millennium. – Toluca, Mexico, 2007.

18. Anon (2001), ‘E-learning is taking off in Europe’, *Industrial and Commercial Training*, 33 (6/7), p. 280.

19. Bonk C, Wisher R (2000), *Applying Collaborative and e-learning tools to Military Distance Learning: A Research Framework*, Alexandria VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioural and Social Sciences, ([www.publicationshare.com/docs/Dist.Learn\(Wisher\).pdf](http://www.publicationshare.com/docs/Dist.Learn(Wisher).pdf)).

20. Brink B, Munro J, Osborne M (2002), ‘Online Learning technology in an SME Work-Based setting’, *Educational Technology and Society*, 5 (2), pp. 81-86.

21. Culatta R. The Traditional LMS is Dead: Looking to a Modularized Future. URL: http://www.innovativelearning.com/learning_management/modular-lms.html.

22. Casey D. u-Learning = e-Learning + m-Learning. URL: <http://walkabout.netcomp.monash.edu.au/dcasey/papers/2005/E-learn2005/paper6792.doc>.

23. D’angeLo G. From Didactics to E-Didactics. e-Learning Paradigms, Models and Techniques. URL: <http://www.liguori.it/schedanew.asp?isbn=4067>.

24. D’angelo G. Eauthoring – didactic methodologies and models of e-Learning content development. URL: www.leonardolets.net/ict/common/download/GiuseppeDAngelo.pdf.

25. Tissot P. Terminology of vocational training policy (A multilingual glossary for an enlarged Europe). URL: <http://etf.europa.eu/pubmgmt.nsf>.

26. North R, Strain D, Abbott L (2000), ‘Training teachers in computer-based management information systems’, *Journal of Computer Assisted-Learning*, 16, 27-40 Oakes K (2003), ‘E-learning’, *T + D*, 57 (1), pp. 64-66

27. Welsh E, Wanberg C, Brown K, Simmering M (2003), ‘E-Learning: emerging issues, empirical results and future directions’, *International Journal of Training and Development*, 8 (4), pp. 245-258.

Надійшла до редколегії 20.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можасв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РАЗРАБОТОК E-LEARNING

Н.Г. Кучук

Рассмотрены аспекты современного состояния методов, технологий и перспектив развития системы e-Learning. Исследована проблема электронного обучения, связанная с неопределенностью терминологии. Проанализированы различные комбинации информационных технологий, которые могут быть использованы для реализации разных методов e-Learning. Отображено архитектуру и платформы электронного обучения. Доказано, что процесс внедрения электронного обучения является более сложным, чем ожидалось, и преимущества новых технологий сопровождаются проблемами при использовании. Анализ множества существующих методов e-Learning и перспективы дальнейших исследований в этой области показывают необходимость воздействия на развитие образования особым образом.

Ключевые слова: методы e-Learning, технологии e-Learning, архитектура e-Learning, платформы электронного обучения, виды и современные направления e-Learning.

ANALYSIS OF THE MODERN TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT OF E-LEARNING

N.G. Kuchuk

The article considers aspects of the current state of methods, technologies and prospects for the development of the e-Learning system. The problem of e-learning associated with the uncertainty of terminology has been studied. Different combinations of information technologies that can be used to implement different e-Learning methods are analyzed. The architecture and e-learning platforms had displayed. It is proved that the process of implementing e-learning is more complex than expected and the advantages of new technologies are accompanied by problems in use. An analysis of the many existing methods of e-Learning and the prospects for further research in this area show the need for an impact on the development of education in a special way.

Keywords: e-Learning methods, e-Learning technologies, e-Learning architecture, e-learning platforms, types and modern e-Learning directions.

УДК 355.4

О.В. Минько, О. Ю. Іохов, В.Т. Оленченко, К.В. Власов

Національна академія Національної гвардії України, Харків

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ OSINT ДЛЯ ОТРИМАННЯ РОЗВІДУВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Розкрито сутність діяльності з отримання розвідувальної інформації з відкритих джерел - OSINT (Open Source INTelligence) та визначені перспективи використання сучасних розвідувальних технологій у Національній гвардії України.

Ключові слова: інформаційний простір, розвідка, технології.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасне людство є свідком динамічних глобальних світових змін, стрімкого переходу від індустріального суспільства до інформаційного. Такі об'єктивні зміни вимагають оновлення форм, умов та способів праці у всіх, без виключення, спектрах діяльності людини, від легкого виробництва та аграрної промисловості до програмно-комп'ютерного забезпечення і космічних досліджень всесвіту.

Змінюються умови та фактори збройної боротьби, виникають інноваційні способи застосування збройних сил.

В арміях провідних країн світу виникають нові способи добування розвідувальної інформації, інформаційної підтримки управлінських процесів та рішень. Динамічний інформаційний розвиток сучасного суспільства створив об'єктивні чинники для виникнення умов, коли все більше інформації, яка необхідна для прийняття рішення, можливо знайти у відкритих джерелах кіберпростору (Інтернету).

Діяльність по отриманню розвідувальної інформації з відкритих джерел кіберпростору отримала назву OSINT – Open Source INTelligence (відкриті джерела розвідки).

16 травня 2011 року уряд Сполучених Штатів Америки прийняв Міжнародну стратегію діяльності США у кіберпросторі (U.S. International Strategy for Cyberspace). За різними оцінками, з відкритих джерел кіберпростору американські розвідувальні служби добувають від 35% до 95% розвідувальної інформації. При цьому доля витрат на розвідку відкритих джерел в розвідувальному бюджеті США складає приблизно 1%[1].

На фоні стрімкого розвитку сучасних інформаційних технологій даному виду розвідки приділяється все більше уваги і у відповідних силових структурах України. Нажаль, у Національній гвар-

дії України поки що не надається істотного значення використанню методів OSINT для отримання розвідувальної інформації та її аналізу. Можливо це пов'язано, з децю архаїчними поглядами на саме поняття інформаційного суспільства, коли спрацьовує принцип «простіше заборонити (нічого не робити), ніж розглянути нові можливості». Зазвичай, як і раніше, використовуються старі інструкції при використанні матеріалів з мережі Інтернет, а з початком проведення АТО – і нові заборони з використання певних інформаційних ресурсів.

Мета статті – дати уявлення про перспективи використання технології OSINT, як одного із способів отримання розвідувальної інформації у процесі службово-бойової діяльності Національної гвардії України.

Виклад основного матеріалу

Розвідка на основі аналізу відкритих джерел інформації далеко не новий вид діяльності для розвідувальних органів провідних країн світу і зі стрімким розвитком інформаційних технологій методи її використання мають бути об'єктом відповідних досліджень.

Збір розвідувальної інформації в OSINT суттєво відрізняється від інших напрямів розвідувальної діяльності, насамперед агентурної розвідки. При роботі з агентурними методами головна проблема полягає у добуванні інформації з джерела, що не завжди схильне до співпраці. В OSINT головним питанням є пошук змістовних та надійних джерел серед величезної кількості різноманітної інформації кіберпростору.

Для пошуку інформації у відкритих джерелах, представлених в мережі Інтернет, використовуються різні пошукові системи. Це універсальні пошукові системи, такі як Google, Yandex, Yahoo, Ask та спеціалізовані (для пошуку мультимедійного контенту: фотографії, ілюстрації, малюнки, відео та

аудіо файли тощо), такі як TinEye та Bing. Кожна з представлених пошукових систем має власні механізми та синтаксис запитів, що значно спрощує процес пошуку інформації, аналізу та відбору джерел. Слід зазначити, що наведена методика роботи за принципами OSINT вже активно використовується у бізнес-колах провідних країн світу для пошуку та отримання законними шляхами інформації про партнерів та конкурентів [1].

Одним із різновидів інформаційних технологій збору та аналізу інформації з відкритих джерел є ще один напрямок розвідки – HUMINT (human intelligence), у дослівному перекладі – «розвідка по людям».

Якщо раніше під терміном HUMINT розуміли збір розвідувальної інформації за допомогою різного роду шпигунів та агентів, то в теперішній час під терміном HUMINT також розуміють діяльність та заходи, що спрямовані на збір інформації з використанням оперативної психології. До таких технологій відносяться: моніторинг соціальних мереж, опитування, соціальний інженіринг, залегновані бесіди (під виглядом журналіста, клієнта, роботодавця і т.п.).

У сучасному світі технології OSINT та HUMINT значно пов'язані між собою і використовують значну кількість технологічно подібних методів отримання необхідної інформації про об'єкт розвідки.

Закордонний досвід. OSINT не новий вид діяльності для американської розвідки. Це одна з семи розвідувальних дисциплін (так в розвідувальному співтоваристві називають види розвідки в залежності від типу залучених сил або коштів), яка застосовується ще з часів Другої світової війни.

Розвідку на основі аналізу відкритих джерел інформації використовують в розвідувальному співтоваристві США з лютого 1941 року, тобто з моменту формування у складі комісії з комунікацій Інформаційної служби зарубіжного мовлення (Foreign Broadcast Information Service – FBIS).

Для створення служби, головним завданням якої став контроль радіомовлення країн нацистського блоку, президент Рузвельт виділив 150 000 дол. (у той час на ці гроші можна було побудувати чотири літака P-51 «Мустанг», що стали згодом кращими винищувачами ВПС США Другої світової). Вже у листопаді 1941 року у Портланді, штат Орегон, була розгорнута і перша станція моніторингу.

З початком війни FBIS передали до складу міністерства оборони, а після її закінчення – в ЦРУ. За однією з легенд класичним прикладом діяльності служби під час Другої світової війни стало ви-

значення ефективності нанесення авіа ударів військами сил антигітлерівської коаліції по залізничних мостах в залежності від коливань цін на апельсини в Парижі.

2004 рік ознаменувався для американської розвідки початком нового етапу масштабного реформування. В цьому році Джордж Буш підписав закон «Про реформування розвідки та протидії терористичній загрози», що містить вказівки про включення OSINT-розвідки в якості повноцінної і рівноправної розвідувальної дисципліни в діяльність американської розвідки, а також про формування Національного центру розвідки на основі аналізу відкритих джерел інформації.

Сьогодні фахівці нового центру щодня готують більше 2000 документів, включаючи перекази, аналітичні огляди, відеопідбірки, карти та ін. Тематика документів охоплює практично всі важливі сфери: міжнародну політику; військову, економічну, наукову і технологічну сфери; боротьбу з тероризмом; контроль за розповсюдженням військових технологій; внутрішню безпеку і так далі.

Більш того, зараз у США сформована розгалужена мережа центрів і пунктів, які ведуть розвідку на основі аналізу відкритих джерел інформації і надають відомості більш ніж 7000 споживачам розвідданих.

І це не що інше, як результат скоординованих дій законодавчої та виконавчої влади, спрямованих на здійснення цілеспрямованої політики в галузі забезпечення національної безпеки.

Окремої уваги заслуговує розвідка на основі аналізу відкритих джерел інформації у військовому відомстві США. Пояснюється це не тільки особливим інтересом до подібної розвід-дисципліни з боку Пентагону, але і тим, що така розвідка стала невід'ємною частиною будь-якої розвідувальної операції ЗС США.

Більше того, американські аналітики відзначають, що прямо або побічно зібрана таким чином інформація стає базою для всіх подібних операцій і розроблюваних документів, а її доступність дозволяє розвідслужбам вирішувати широке коло завдань без залучення фахівців агентурної розвідки і застосування технічних засобів збору інформації. Дані, отримані в ході цього виду розвідки, справляють істотний вплив на організацію будівництва збройних сил, забезпечення їх готовності, а також на ефективне планування бойових дій.

Сьогодні всі центри OSINT-розвідки у складі відомств розвідувального співтовариства об'єднані в єдину інформаційну систему, що отримала назву як інформаційна система відкритих джерел інформації (OSIS)[1].

Досвід України. Технології OSINT активно використовуються в ході російсько-української війни в окремих районах Донецької та Луганської областей. Наприклад, одним із джерел інформації про результативність артилерійських обстрілів вогневих позицій терористами у районі Донецька є обговорення даних подій мешканцями міста в мережі, а фотографії військової техніки, зроблені місцевими жителями, часом значно ефективніші за результати моніторингу представниками ОБСЄ.

В мережі Інтернет існує безліч ресурсів, що дозволяють розвідувальним органам отримувати інформацію про незаконні збройні формування у зоні проведення АТО. Наприклад, на основі даних OSINT-розвідки, яку проводять волонтери команди InformNapalm, визначаючи за геотегами та записами у соціальних мережах місце розташування російських солдатів, була створена «таблиця шевронів» підрозділів ЗС РФ, що «засвітилися» у конфлікті на Донбасі. Фактично, це стало одним з інструментів ідентифікації підрозділів і частин РФ, що воюють проти України на Донбасі.

В Україні таких організацій та ресурсів, що ведуть пошук інформації або здійснюють протидію ворожій пропаганді, на даний час вже налічується десятки. Наприклад, деякі з них:

- Dokaz - ресурс, який публікує докази присутності російських військових на сході України, матеріали щодо злочинів терористів та окупантів на території українського Донбасу [2].
- Bellingcat Ukraine Conflict Vehicle Tracking Project - на цьому сайті збираються та публікуються дані щодо пересування російської військової техніки на Донбасі [3].
- Стоптеррор - проект візуалізує на інтерактивній карті бойові дії на території України, публікується інформація про незаконні збройні формування і присутність кадрових військових РФ [4]. Також через сайт можна повідомляти про будь-які інші події за темою сайту.

Вже зараз деякі ресурси, що використовують технології OSINT, і які є доступними у мережі Інтернет, використовуються військовослужбовцями у зоні проведення АТО, у тому числі і військовослужбовцями НГУ, що несуть службу на блокпостах, проводять оперативно-профілактичні відпрацювання, пошукові та інші спеціальні заходи.

Досить часто використовуються можливості сайту «Миротворець» [5]. Даний сайт розроблений Центром «Миротворець», який є незалежною недержавною організацією, створеною групою вчених, журналістів і фахівців з питань дослідження ознак злочинів проти національної безпеки України, світу, безпеки людства та міжнародного право-

порядку, що займаються творчою науковою та журналістською діяльністю.

Центр «Миротворець» здійснює свою діяльність у суворій відповідності до чинного законодавства України та міжнародними нормативно-правовими актами, ратифікованими нашою державою.

Інформаційне наповнення сайту «Миротворець» здійснюється із загальновідомих і загальнодоступних відкритих джерел, які використовуються виключно в науково-дослідних, творчих і журналістських цілях.

Основними джерелами інформації, що використовується Центром «Миротворець» для проведення своїх досліджень, є відкриті для загального доступу матеріали, які друкуються і розміщуються в соціальних мережах, веб-виданнях, на приватних веб-сторінках, в спеціалізованих форумах і блогах, транслюються по каналам телебачення і радіомовлення.

Окрім інформації про окремих осіб, на сайті створена карта військових частин, підрозділи яких брали і беруть участь у війні проти України.

На даний час Центр «Миротворець» не заперечує проти використання інформації і відомостей, що містяться на однойменному сайті, співробітниками СБУ, МВС України, Державної прикордонної служби України, ЗС України та Національної гвардії України в оперативній і розшукової діяльності.

Такий сайт та інші подібні до нього Web-ресурси значно полегшують роботу працівників правоохоронних органів держави.

Крім того, завдяки тому, що бойовики розміщують свої дані та фото в соціальних мережах, усі небайдужі бажаючі можуть долучатись до збору розвідувальних даних про противника.

Яскравий приклад – це інформація зібрана про громадянина РФ Олексія Мільчакова, садиста-нациста, що воював проти українських Збройних Сил у ході конфлікту на Донбасі та про скоєні ним злочини.

Використання сучасних технологій значно спрощує розкриття складу сил протидіючої сторони.

Вже зараз елементи OSINT активно використовуються Службою Безпеки України, Головним Управлінням Розвідки, Міністерством внутрішніх справ.

Також досить часто інформація, отримана за допомогою OSINT використовується в ході інформаційної війни проти противника.

Разом з тим, не слід забувати, що подібні методи пошуку розвідувальних даних активно використовує і противник, що потребує самодисциплі-

ни особового складу Національної гвардії України щодо розміщення відомостей в соціальних мережах, які можуть становити інтерес розвідки противника, на що неодноразово звертало увагу Головне Управління НГУ.

Висновки

Розвиток комп'ютерних технологій та доступність Інтернету і, відповідно, збільшення потоку відкритої інформації робить актуальним проблему аналізу її джерел як одного із елементів сучасної системи управління.

Застосовувана сьогодні в провідних країнах світу сукупність сучасних технологій дозволяє співробітникам розвідки отримувати доступ до великих масивів даних, необхідних для оцінювання ситуації, здійснення контролю за обстановкою та задоволення потреб органів управління в даних, необхідних для прийняття обґрунтованих і правильних рішень.

З урахуванням останніх подій, виглядає доцільним створення в Україні підрозділів, що займалися б попередньою обробкою і аналізом інформаційних потоків, у тому числі і OSINT-розвідкою. Можна відмітити спроби Міністерства інформаційної політики України реалізувати подібні проекти, однак на даний момент перевага на боці волонтерських недержавних організацій, що розуміють важливість використання технологій в процесі інформаційної боротьби і пропонують свої послуги збройним формуванням України.

Досвід провідних країн світу у галузі аналізу відкритих джерел інформації для потреб розвідки дозволяє визначити перспективні напрямки для Національної гвардії України:

1) створення відділів (груп) аналізу відкритих джерел інформації, які б працювали у взаємодії з подібними органами МВС, ЗС та інших силових структур України;

2) активне використання можливостей сучасних інформаційних технологій у процесі отримання, оброблення та аналізу інформації для потреб як розвідки, так і органів управління;

3) створення спеціального захищеного Web-порталу, що має містити чати, дошки повідомлень, адреси і телефони подібних органів інших формувань та структур, призначених для обміну даними аналізу.

Існує необхідність використання технологій OSINT Національною гвардією України не тільки в зоні проведення АТО, але і під час моніторингу суспільно-політичної обстановки в Державі з метою запобігання або у ході можливих масових порушень громадського порядку, актів громадянської непокорності, протестів та терористичних актів, а також у процесі прийняття управлінських рішень і планування операцій (бойових дій).

Список літератури

1. *Разведка из открытых источников* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://z-filez.info/story/razvedka-iz-otkrytykh-istochnikov>.
2. *Dokaz*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.dokaz.org.ua/> - Назва з екрану.
3. *Bellingcat Ukraine Conflict Vehicle Tracking Project* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bellingcat.com/resources/2015/02/12/ukraine-conflict-vehicle-first-week/> - Назва з екрану.
4. *Стоптеррор* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://stop-terror.com.ua/> - Назва з екрану.
5. *Центр «Миротворець»* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://myrotvorets.center/> - Назва з екрану.

Надано до редакції 15.10.2016

Рецензент: д-р тех. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ OSINT ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.В. Минько, А.Ю. Иохов, В.Т. Оленченко, К.В. Власов

Раскрыта суть деятельности по получению разведывательной информации из открытых источников - OSINT (Open Source INTelligence) и определены перспективы использования современных разведывательных технологий в Национальной гвардии Украины.

Ключевые слова: информационное пространство, разведка, технологии.

USING OF OSINT TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENCE

O.V. Mynko, A.Yu. Iohov, V.T. Olenchenko, K.V. Vlasov

The essence of intelligence to obtain information from public sources - OSINT (Open Source INTelligence) and identified prospects of using modern exploration technologies in the National Guard of Ukraine.

Keywords: information space, intelligence, technologies.

УДК 004.045

І.І. Обод, К.П. Манько, Д.В. Шталтовний

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

В статті на основі розгляду завдань, що вирішують автоматизовані системи обробки інформації та вибору критерію ефективності таких інформаційних систем проведено аналіз інформаційних процесів, що протікають у системі контролю повітряного простору.

Ключові слова: інформаційні процеси, повітряний простір, система спостереження.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Контроль повітряного простору (КПП) став однією з найважливіших задач усіх цивілізованих країн світу, як кожної окремо – з точки зору забезпечення їх національної безпеки і оборони, так і усіх разом – з точки зору забезпечення безпеки польотів авіації і поєднання міжнародних зусиль у боротьбі з тероризмом у цій сфері.

Досвід провідних країн світу свідчить, що в них вже досить тривалий термін існують національні єдині системи КПП як військової, так і цивільної авіації.

Очевидно, що при цьому досягається максимальна ефективність використання ПП [1, 2].

Методологічну основу створення елементів сучасних систем КПП складають інформаційні технології (ІТ). Їх реалізація базується на широкому використанні стандартних апаратних і програмних засобів сучасних обчислювальних систем.

Метою роботи є аналіз інформаційних процесів, що циркулюють в системі КПП яка включає в себе опис потоків інформації, темпів (швидкостей) обміну інформацією та основоположних принципів цього обміну.

Основна частина

В сучасних системах КПП ІТ втілюються при реалізації автоматизованих систем (АС). АС системи КПП є інтегрованою інформаційною системою (ІС), що об'єднує інформаційні ресурси і забезпечує в рамках єдиних стандартів збір, накопичення, обробку, пошук і представлення інформації, призначеної для достовірного інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття рішень. Відповідно до призначення і характеру вирішуваних завдань, АС можна розділити на дві групи:

- *інформаційні* - призначені для збору інформації про спостережувані об'єкти та обстановку;
- *керуючі* - призначені для вирішення завдань управління об'єктами за даними спостережень і ви-

мірювань (системи ППО об'єктів, системи управління повітряним рухом та ін.).

Автоматизовані системи обробки інформації (АСОІ) використовуються або автономно, або входять в контур систем управління технологічними процесами. У широкому класі АСОІ вхідна інформація представляється безперервними випадковими процесами (сигналами), які надходять від датчиків. Такі АСОІ використовують як підсистеми, зокрема, автоматизованих систем керування повітряним рухом, контролю повітряного простору, технологічними процесами і т.д.

АСОІ реалізуються часто у вигляді інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що функціонують в реальному масштабі часу.

У ІВС сигнали від датчиків після попередньої обробки в приймальних пристроях вводяться для подальшої обробки в ЕОМ.

Інформаційно-вимірювальна система АС КПП включає до свого складу складне сучасне обладнання, апаратуру первинної обробки даних (АПОД), засоби вторинної обробки даних та функціонує в умовах впливу ряду випадкових зовнішніх факторів (флуктуації сигналів, наявності завад). Аналіз ефективності подібних складних систем можна виконати на основі побудови машинної моделі по ланцюжку: середовище - система - математична модель - моделюючий обчислювальний алгоритм з реалізацією на досить продуктивній ЦОМ.

Модель, що розробляється, повинна відповідати наступним вимогам:

- враховувати різноманітність прийнятих сигналів та завад, що обумовлене великою кількістю типів ПО, різними дальностями до ПО і різними їх швидкостями, метеоумовами, наявністю завад від гідрометеоутворень, перевідбиттів від місцевих предметів та ін.;

- враховувати тактико-технічні характеристики модельованої ІОС (форму діаграми спрямованості антени СС, параметри сканування антеною системи, типові параметри радіочастотного тракту, приймального пристрою);

- враховувати особливості стійкої обробки сигналів в системах селекції ПО, в АПОД, особливості алгоритмів фільтрації параметрів траєкторій ПО в ЦОМ вторинної обробки;

- прикладні програми повинні допускати різні модифікації і задовольняти вимогам можливих користувачів, зокрема, допускати реалізацію на сучасних ЕОМ.

Вибір критеріїв ефективності ІОС проводиться виходячи зі звичайних вимог до критеріїв складних систем:

- відповідність критерію основній функції системи;

- критичність до визначальним параметрам;

- доступність вимірювання (оцінки) в процесі експлуатації систем.

Сформульованим вимогам задовольняють:

- критерій достовірності відображення інформації в зоні огляду СС ІОС КПП, оцінюваний кількісно умовною ймовірністю правильного виведення на індикатор повітряної обстановки (ІПО) мітки ПО з формуляром супроводу;

- критерій точності обробки траєкторій ПО, оцінюваний в загальному випадку кореляційною матрицею похибок вимірювання координат.

Для системи КПП можна виділити ряд притаманних їй ознак:

- велика кількість взаємно пов'язаних та взаємодіючих між собою елементів;

- складність функцій, що виконує система та направлених на досягнення заданої цілі функціонування;

- можливість розбиття системи на підсистеми, цілі функціонування яких підпорядковані загальній цілі функціонування всієї системи;

- управління розгалуженою інформаційною мережею та інтенсивними потоками інформації;

- взаємодія з зовнішнім середовищем та функціонування в умовах впливу випадкових факторів.

Складність процесу оперативного КПП також пов'язана з тим, що він протікає в реальному масштабі часу, при обмежених можливостях людини на обміркування ситуації, а іноді і отримання абсолютно достовірної інформації. Від наявності високоякісної інформації залежать можливість виконання функцій системи КПП.

АСОІ є інтегрованою інформаційною системою (ІС), що об'єднує інформаційні ресурси (ІР) і забезпечує в рамках єдиних стандартів збір, накопичення, обробку, пошук і представлення інформації, призначеної для достовірного інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття рішень. В системі передбачено використання широкого спектру датчиків і джерел інформації, а саме: радіолокаційних станцій різних типів, засобів радіо- і радіотехнічної розвідки, засобів дальнього радіолокаційного виявлення.

Спостереження за повітряними об'єктами сучасними засобами передбачає необхідність використання:

- даних про поточні координати ПО, отриманих за допомогою первинних і вторинних систем спостереження;

- додаткової інформації про ПО при виконанні польоту (ідентифікація за ознакою «свій-чужий», бортовий номер, висота, залишок палива і т.д.).

Вся перерахована і інша інформація приймається від джерел спостереження, обробляється, передається по каналах зв'язку, відображається, або при необхідності, зберігається в пам'яті АС КПП.

В основу обміну інформацією закладені наступні принципи.

Взаємодія між елементами всіх рівнів здійснюється шляхом організації автоматизованого обміну уніфікованими кодограмами встановленого типу.

Частина інформації, яка необхідна для функціонування АС КПП, видобувається або неавтоматизованими методами, або з джерел, що безпосередньо не входять в систему, тому повинні бути встановлені два режими обміну: автоматизований і ручний. При цьому в ту частину кодограм, яка формується автоматизованим способом, доступ оператору заборонений. Таким чином, виключається можливість втрати таких переваг автоматизованої системи, як достовірність і оперативність подання інформації. Для дотримання цієї вимоги вся інформація в автоматизованій системі розбивається на дві групи.

В автоматизованому режимі формується наступна інформація:

- службова інформація: дата, час, нумерація джерел і приймачів, умовні ознаки адресатів;

- інформація системи автоматизованого контролю: ознаки справності джерела, каналу передачі, ознака наявності (або відсутності) обміну, стан юстування і синхронізації каналу;

- інформація про ПО: координати і параметри руху;

- командна інформація - дані текстових і цифрових формалізованих повідомлень і повідомлень зі стандартних бібліотек (баз даних) системи, включаючи командні сигнали управління апаратними засобами АС КПП;

- повні та скорочені формуляри ПО з використанням інформації, що зберігається в базах даних.

Обмін інформацією може здійснюватися в трьох режимах: централізованому (синхронному), децентралізованому (асинхронному) і змішаному. Синхронний режим передбачає роботу по системі «запит-відповідь», при цьому пріоритетна роль належить, як правило, автоматизованому комплексу засобів центрального пульта управління (ЦПУ). Основною його перевагою є реалізація жорсткого ча-

сового алгоритму роботи і можливість побудувати систему на більш простих алгоритмах. Недоліками є підвищена чутливість до тимчасових збоїв в алгоритмі, в результаті яких вся система цілком може вийти з ладу, і зниження швидкості обміну. Асинхронний режим не встановлює жорстких часових рамок обміну, в ньому відсутні пріоритети, джерела інформації та ЦПУ обмінюються нею в довільні моменти часу. Основною перевагою такого режиму є максимальне наближення до реального часу, однак частина інформації може бути втрачена безповоротно через конфлікти між джерелами і приймачами інформації. Як показала практика створення АСУ різного призначення, перевагу мають системи змішаного типу, в яких присутні такі ознаки синхронних і асинхронних режимів:

- обмін інформацією автоматизованого контролю здійснюється синхронізовано, з жорстким, заздалегідь заданим темпом.

- обмін цільовою інформацією здійснюється асинхронно, по мірі її надходження, однак в алгоритмі присутні ознаки синхронізації.

Щоб уникнути перевантаження каналів передачі інформації темп її видачі пов'язаний з поведінкою ПО. Однак слід зазначити, що потенційною межею темпу видачі кодограм є швидкість огляду простору СС. Незважаючи на технічну можливість видачі кодограм один раз за огляд СС, зовсім не обов'язково, щоб вся необхідна інформація формувалася протягом цього огляду:

- по-перше, застосування міжоглядових алгоритмів вторинної і третинної обробки даних підвищує її достовірність і точність;

- по-друге, деякі режими роботи джерел інформації в принципі неможливо організувати за один огляд (автосупровід ПО та вимірювання параметрів руху).

Швидкості та інтенсивності обміну визначаються двома факторами: граничними можливостями програмно-апаратних засобів та цільовою обстановкою, що складається.

Можливості системи по відображенню інформації на ЦПУ визначаються, в значній мірі, обраною інформаційною моделлю, яка повинна розроблятися відповідно до діючої нормативної документації на програмні комплекси.

Можливості моделі, в свою чергу, тісно пов'язані з можливостями обраної системи управління базами даних. Всі вихідні дані для організації інформаційного обміну умовно поділяються на постійні (повільно мінливі) і змінні.

Постійна вихідна інформація міститься в єдиній базі даних комплексу банку даних, змінна інформація задається в інтерактивному режимі користувачами комплексу.

Висновки

Ефективність інформаційних технологій системи організації повітряного руху в значній мірі залежить від інформаційного забезпечення.

Необхідною складовою ІТ в системі КПП є отримання даних спостережень за повітряними об'єктами, обробка даних систем спостережень та розповсюдження оброблених даних між споживачами.

Список літератури

1. *Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004.*
2. *Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. - М.: Транспорт, 1980. - 342 с.*
3. *Обод І.І. Обробка даних систем спостереження повітряного простору: монографія. За заг. ред. І.І. Обод / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько. - Харків: НТУ «ХП», 2016. - 281 с.*

Надійшла до редколегії 13.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук професор. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХП», Харків.

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.И. Обод, К.П. Манько, Д.В. Шталтовный

В статье на основе рассмотрения задач, которые решают автоматизированные системы обработки информации и выбора критерия эффективности таких информационных систем проведен анализ информационных процессов, протекающих в системе контроля воздушного пространства.

Ключевые слова: *информационные процессы, воздушное пространство, система наблюдения.*

ANALYSIS OF INFORMATION PROCESSES IN THE AIRSPACE CONTROL

I.I. Obad, K.P. Manko, D.V. Shtaltovnyi

On the basis of consideration of problems that solve automated data processing systems and the effectiveness of such selection criterion information systems analysis of information processes occurring in the airspace control system.

Keywords: *information processes, airspace surveillance system.*

УДК 623.618

С.А. Олизаренко

Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О РАСПОЗНАВАНИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

В статье разработан метод формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов на цифровых аэрофотоснимках на основе нечеткой кластеризации и нечеткого логического вывода на основе интервальных нечетких множеств второго типа. В качестве входных данных метода рассматриваются распознанные компактные (точечные) объекты с использованием сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: компактный объект, сложный объект, кластеризация, распознавание, класс, подкласс, нечеткое множество, цифровой аэрофотоснимок.

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время обработка изображений, полученных в процессе выполнения воздушной разведки, является важнейшей составляющей процесса обработки разведывательной информации. Основным этапом обработки изображений, полученных по результатам воздушной разведки, является этап дешифрирования аэрофотоснимков. При этом дешифрирование включает процессы выявления, распознавания и интерпретации. В последние несколько лет одним из наиболее эффективных подходов к выявлению и распознаванию компактных (точечных) объектов является подход, основанный на использовании методов глубокого обучения. На данный момент основными «глубокими» моделями являются глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks (DNN)) [1]. С другой стороны, вопросы автоматизированного распознавания сложных (групповых) объектов, рассматриваемых как совокупность компактных (точечных) объектов, в настоящее время являются не достаточно исследованными, в том числе и с точки зрения формального представления знаний о распознавании объектов подобной категории в рамках соответствующих информационных технологий [2].

Анализ литературы. В настоящее время существует достаточное количество публикаций, описывающих различные подходы к распознаванию компактных (точечных) объектов, в том числе и на основе методов глубокого обучения. Например в [3] можно найти общее сравнение функциональных возможностей наиболее известных программных средств для решения задач глубокого обучения. В [4] рассмотрены средства, обеспечивающие возможности для создания полностью связанных нейросетей (fully connected neural network, FC NN), в [5] сверточных нейронных сетей (convolutional neural

network, CNN), в [6] автоэнкодеров (autoencoder, AE) и ограниченных машин Больцмана (restricted Boltzmann machine, RBM). Однако вопросы распознавания сложных (групповых) объектов в ходе дешифрирования аэрофотоснимков в данных публикациях не рассматриваются.

Цель статьи: разработка метода формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов на цифровых аэрофотоснимках на основе нечеткой кластеризации и нечеткого логического вывода.

Основная часть

В общем случае задачу формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов на цифровом аэрофотоснимке можно представить как решение следующих подзадач:

– разбиение заданного множества распознанных компактных (точечных) объектов одного класса (подкласса) на цифровом снимке на классы однородных групп сложного (группового) объекта. С математической точки зрения, данная подзадача формулируется следующим образом: необходимо сгруппировать элементы исследуемого множества в подмножества, называемые кластерами, так, чтобы подобные элементы относились к одному и тому же множеству, а неподобные – к различным подмножествам. Учитывая, что параметры сложных (групповых) объектов находятся в некоторых пределах, задаваемых интервальными величинами, в дальнейшем рассматриваются нечеткие кластеры;

– формальное представление процесса пересчета пиксельных координат распознанного компактного (точечного) объекта в геодезические координаты с последующим определением взаимного пространственного положения объектов на цифровом снимке;

– формальное представление параметров сложных (групповых) объектов на цифровом в виде нечетких чисел и лингвистических переменных;

– формальное представление правил распознавания сложных (групповых) объектов на цифровом снимке в виде иерархической базы нечетких продукционных правил;

- формальное представление процесса распознавания сложных (групповых) объектов на цифровом снимке на основе алгоритма нечеткого вывода.

При разработке метода формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов на цифровом снимке учитываются следующие ограничения и допущения:

- в качестве категорией сложного (группового) объекта для распознавания в данном исследовании рассматривается категории «класс» и «подкласс» в соответствии с определенными возможностями метода формализации знаний о распознавании компактных (точечных) объектов воздушной разведки;

- в качестве входных данных используются распознавания компактных (точечных) объектов на цифровом снимке с использованием нейросетевого детектора на основе сверточных и нечетких нейронных сетей;

– построение функций принадлежности в условиях и заключениях нечетких продукционных правил осуществляется с использованием наиболее простых форм функций принадлежности, а именно – кусочно-линейных функций;

- при распознавании сложных (групповых) объектов рассматриваются объекты, включающие элементы (компактные (точечные) объекты), которые по характеру работы располагаются открыто и при этом рассматриваются как основные демаскирующие признаки сложных (групповых) объектов.

Обобщенная схема выбора нечеткой кластер-процедуры предусматривает выполнение следующих двух основных этапов:

– обоснование выбора одного из трех типов методов нечеткого подхода к кластеризации (эвристического, оптимизационного, иерархического);

– обоснование выбора конкретного алгоритма нечеткой кластер-процедуры.

В качестве методов нечеткого подхода к кластеризации предлагается использование эвристических методов. Это связано с тем, что:

– существует содержательное представление об условиях объединения объектов кластеризации (компактных (точечных) объектов воздушной разведки) в нечеткие кластеры (однородные группы сложного (группового) объекта);

– число нечетких кластеров считается заранее неизвестным в силу существующей неопределенности знаний о наличии сложных (групповых) объектов воздушной разведки на цифровом аэрофото-снимке при их автоматизированном распознавании.

В качестве алгоритма эвристической нечеткой кластер процедуры предлагается использование алгоритма Кутюрье-Фьюлео. Это связано с тем, что в рамках эвристического направления нечеткого

подхода, главным критерием выбора алгоритма является соответствие особенностей алгоритма содержательной постановке задачи.

Исходя из постановки задачи формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов и с учетом, того что интервальные нечеткие множества типа 2 (ИНМТ2) являются более эффективными по сравнению с классическими нечеткими множествами, в качестве математического аппарата формализации параметров распознавания сложных (групповых) объектов предлагается использовать ИНМТ2. При этом совокупность нечетких продукционных правил представляет собой базу правил (БП) и рассматривается как структурный элемент соответствующей базы знаний (БЗ) о распознавании сложных (групповых) объектов.

При разработке метода формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов в качестве нечеткого продукционного правила, описывающего наперед заданный класс сложного (группового) объекта, будем использовать правила с MISO-структурой, где в качестве условий используются формализованные представления результатов распознавания компактных (точечных) объектов, определения их количественного состава и взаимного пространственного расположения на цифровом снимке, а в качестве заключений используются значения (номера (наименования) классов сложных (групповых) объектов) формализованные с использованием ИНМТ2. Предлагается следующая структура метода формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов:

- формальное представление процесса выявления однородных групп сложных (групповых) объектов воздушной разведки на основе нечеткой кластер-процедуры для формирования множества нечетких кластеров (однородных групп сложных (групповых) объектов) и распределения объектов нечеткой кластеризации (компактных (точечных) объектов) по полученным нечетким кластерам;

- формальное представление процесса пересчета пиксельных координат компактного (точечного) объекта в геодезические координаты с последующим определением взаимного пространственного положения объектов на снимке;

– формальное представление входных и выходных параметров задачи распознавания сложных (групповых) объектов воздушной разведки в виде лингвистических переменных (ЛП) и нечетких чисел на основе ИНМТ2;

– формальное представление процесса распознавания сложных (групповых) объектов в виде упорядоченной совокупности нечетких продукционных правил, иерархически соединенных в многоуровневую нечеткую модель;

- выполнение контроля полноты и непротиворечивости многоуровневой нечеткой модели распознавания сложных (групповых) объектов;

- разработка комплексного алгоритма распознавания сложных (групповых) объектов на основе многоуровневой нечеткой продукционной модели;

- разработка логической модели процесса распознавания сложных (групповых) объектов воздушной разведки с использованием конструкций представления логических моделей языка объектно-ориентированного моделирования UML.

Многоуровневая структура нечеткой продукционной модели распознавания сложных (групповых)

объекта формируется в виде иерархического соединения нечетких продукционных моделей $V_1^{КСГО}$ (БП для распознавания сложного (группового) объекта воздушной разведки, элементами которого являются однородные группы компактных (точечных) объектов) и $V_2^{КСГО}$ (БП для распознавания сложного (группового) объекта воздушной разведки, элементами которого являются сложные (групповые) и компактные (точечные) объекты) с соответствующими ЛП. В этом случае выходы базы правил $V_1^{КСГО}$ являются входами базы правил $V_2^{КСГО}$ (рис. 1).

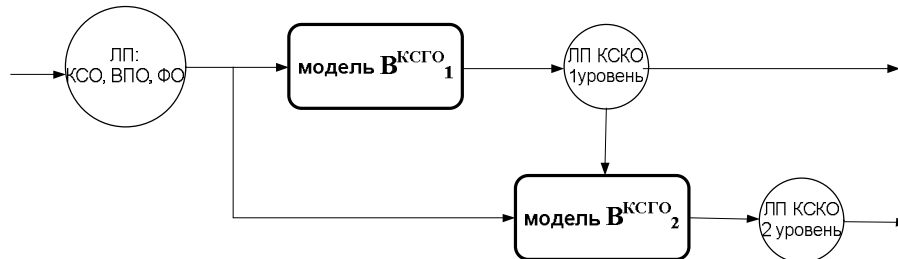


Рис. 1. Иерархическое соединение баз нечетких продукционных правил в рамках многоуровневой нечеткой продукционной модели $V^{КСГО}$

Выводы

Разработанный метод формализации знаний о распознавании сложных (групповых) объектов на цифровых аэрофотоснимках на основе нечеткой кластеризации и нечеткого логического вывода позволяет учесть основные параметры распознаваемых сложных (групповых) объектов с учетом предварительного распознавания компактных (точечных) объектов с использованием сверточных нейронных сетей. При этом разработанный метод рассматривается как элемент информационной технологии разработки базы знаний о распознавании объектов на цифровых аэрофотоснимках с использованием нейросетей и нечеткой логики.

Список литературы

1. Deep learning in neural networks: An overview / J. Schmidhuber // *Neural Networks*. – 2015. – Т. 61. – P. 85-117.

2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

3. Сравнение библиотек глубокого обучения на примере задачи классификации рукописных цифр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/itseez/blog/254747/#Paper1>.

4. Hinton G.E. Learning multiple layer so representation / G.E. Hinton // *Trends in cognitive sciences*. – 2007. – Т. 11, № 10. – P. 428-434.

5. Le Cun Y. Convolution al networks and applications in vision / Y. Le Cun, K. Kavukcuoglu, C. Farabet // *ISCAS*. – 2010. – С. 253-256.

6. Hayat M. Learning on-line a reconstruction models for image set classification / M. Hayat, M. Bennamoun, S. An // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2014. – P. 1907-1914.

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАТЬ ПРО РОЗПІЗНАВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ І НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

С.А. Олізаренко

У статті розроблено метод формалізації знань про розпізнавання складних (групових) об'єктів на цифрових аерофотознімках на основі нечіткої кластеризації і нечіткого логічного висновку на основі інтервальних нечітких множин другого типу. В якості вхідних даних методу розглядаються розпізнані компактні (точкові) об'єкти з використанням згортальних нейронних мереж.

Ключові слова: компактний об'єкт, складний об'єкт, кластеризація, розпізнавання, клас, підклас, нечітка множина, цифровий аерофотознімок.

METHOD OF FORMALIZING KNOWLEDGE ON RECOGNITION OF COMPLEX OBJECTS BASED ON FUZZY CLUSTERIZATION AND FUZZY LOGICAL CONCLUSION

S.A. Olizarenko

The method of formalizing knowledge on recognition of complex (group) objects on digital aerial photographs based on fuzzy clustering and fuzzy logic inference based on interval fuzzy sets of the second type is developed. As the input data of the method, the recognized compact (point) objects using convolutional neural networks are considered.

Keywords: compact object, complex object, clustering, recognition, class, subclass, fuzzy set, digital aerial photograph.

УДК 004.045

І.В. Свид, А.І. Обод

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

В статті, на основі розгляду питань первинної, вторинної та третинної обробки даних, розроблено структуру інформаційної технології обробки даних систем спостереження повітряного простору.

Ключові слова: обробка даних, інформаційна технологія, системи спостереження.

Вступ**Постановка проблеми та аналіз літератури.**

Система контролю повітряного простору (КПП) вирішує [1,2] такі основні завдання:

- ведення безперервної розвідки ПП;
- оцінка повітряної обстановки (*в реальному масштабі часу*) і виявлення порушень порядку використання повітряного простору;
- розробка електронної карти повітряної обстановки та видача її споживачам.

Основними елементами процедури контролю повітряного простору (ПП) є

- аналіз повітряної обстановки;
- прийняття рішень.

Джерелом динамічної інформації про повітряну обстановку в системі КПП є системи спостереження (СС), обробка даних (ОД) яких і є основою для прийняття рішень.

Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління.

Метою роботи є аналіз структури інформаційної технології обробки даних систем спостереження.

Основна частина

Методологічну основу створення елементів сучасних систем контролю ПП складають *інформаційні технології* (ІТ), котрі втілюються при реалізації автоматизованих систем (АС). АС є інтегрованою інформаційною системою (ІС), що об'єднує інформаційні ресурси і забезпечує в рамках єдиних стандартів збір, накопичення, обробку і представлення інформації, призначеної для достовірного інформаційно-аналітичного забезпечення

Обробка даних систем спостереження - процес приведення інформації, що отримується від СС, в придатний для прийняття рішень.

Система ОД безпосередньо пов'язана із джерелами сигналів СС та забезпечує рішення наступних завдань:

- 1) виявлення повітряних об'єктів;
- 2) вимір координат і параметрів руху ПО;
- 3) перетворення координат спостережуваних ПО з полярної системи координат в прямокутну;
- 4) виявлення траєкторії ПО за сукупністю оцінок, отриманих у ряді послідовних оглядів СС;
- 5) обчислення згладжених і випереджених на деякий відрізок часу координат повітряних об'єктів;
- 6) формування узагальненої повітряної обстановки в зоні управління від декількох джерел.

Рішення перерахованих задач призводить до різноманіття виконуваних системою функцій, пов'язаних з поетапною обробкою великих потоків даних. Система обробки може бути представлена як сукупність елементарних підсистем зі складними взаємозв'язками. Складність системи ОД не дозволяє проводити формалізацію й аналіз її роботи в цілому. Тому доводиться попередньо розбивати систему на елементи й вивчати їхнє функціонування. У зв'язку із цим, доцільно, щоб елементи системи ОД мали чітко виражене призначення, а також те, що їх можна було б описати з досить загальних математичних позицій.

Такий підхід дозволяє процес ОД СС розділити на наступні функціонально закінчені етапи:

- первина обробка даних (ПОД);
- вторинна обробка даних (ВОД);
- третина обробка даних (ТОД).

Слід зазначити що у СС здійснюється виявлення корисних сигналів, прийнятих від ПО та визначення параметрів прийнятих сигналів.

Задача виявлення корисних сигналів вирішується в пристроях обробки сигналів і складається у винесенні однозначного рішення: або сигнал є ($x_i = 1$), або сигналу немає ($x_i = 0$). Оптимальність рішення задачі виявлення сигналів приймається, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, що зводиться до максимізації ймовірності правильного виявлення сигналів (D_i) при обмеженнях на ймовірність хибного виявлення (F_i). Ці дві ймовірності і є показниками якості виявлення сигналів. Операції оцінки параметрів сигналів у загальному випадку оптимізуються за критерієм мінімуму середнього ризику.

Оскільки в розглянутому випадку сигнал квантується на два рівні (двійкове квантування), тим самим можна проводити безпосередній синтез алгоритмів і вирішальних пристроїв для ОД. Необхідні для цього статистичні характеристики M -мірних вибірок за наявності й відсутності сигналу мають такий вигляд:

$$P_{zz}(x_i) = \prod_{i=1}^M P_{zz_i}^{x_i} (1 - P_{zz_i})^{(1-x_i)}, \quad (1)$$

$$P_z(x_i) = \prod_{i=1}^M P_{z_i}^{x_i} (1 - P_{z_i})^{(1-x_i)}, \quad (2)$$

де $P_{zz_i} = \int_{z_0}^{\infty} p_{z_i}(u_i) du_i$; $P_{z_i} = \int_{z_0}^{\infty} p_z(u_i) du_i$;

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } u_i \geq z_0; \\ 0, & \text{якщо } u_i < z_0. \end{cases}$$

Таким чином рішення x_i є даними які поступають на вхід ПОД. Перші три завдання ОД виконуються на етапі ПОД.

В алгоритмах виявлення ПО здебільшого в тому чи іншому вигляді застосовується метод накопичення вхідних даних. Для вирішення сформульованого завдання виявлювач ПО має обробляти дані, що надходять, відповідно до деякого алгоритму. Алгоритм виявлення ПО зводиться до перевірки гіпотези H_0 про відсутність ПО проти альтернативної гіпотези H_1 про її наявність, тобто до утворення співвідношення правдоподібності й порівняння цього відношення з якимось наперед заданим числом, яке обирається, виходячи з припустимої імовірності хибного виявлення. Рішення про виявлення об'єкту з показниками якості F і D надходить на вимірювач координат ПО. Оцінка координат миттєвого положення ПО робиться одночасно з виявленням ПО. Завдання вимірювача координат ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць оцінити оптимальним чином координати ПО.

Для вирішення сформульованого завдання вимірювач координат ПО також має обробляти дані, що надходять, відповідно до деякого алгоритму. Оптимальний алгоритм вимірювання координат синтезується, як правило, за критерієм максимальної правдоподібності. Вигляд функції правдоподібності залежить від статистичних характеристик сигналів і завад, форми діаграми спрямованості антенної системи, а також від способу сканування антени СС у процесі вимірювання.

Таким чином, при формуванні рішення про виявлення ПО з виходу вимірювача координат споживачам видається оцінка вектору вимірювання координат ПО $\vec{a} = \|\| r \ \beta \ \varepsilon \|\|^T$, що характеризується кореляційною матрицею похибок \vec{C}^{-1} .

Координати спостережуваних ПО, як правило, перетворюються з природної для СС полярної системи координат в прямокутну (декартову).

Вектор стану $\vec{w} = \|\| x \ y \ z \|\|^T$ характеризує три декартові координати в просторі, а вектор спостережуваних параметрів $\vec{a} = \|\| r \ \beta \ \varepsilon \|\|^T$ - три сферичні

координати, незалежно вимірювані в деякому пункті прийому. Туди входять:

- похила дальність $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$;
- азимут $\beta = \arctg(x/y) + \frac{\pi}{2(1 - \text{sgn}x - \text{sgn}x - \text{sgn}y)} = h_1$;
- кут міста $\varepsilon = \arctg(z/r_g) = h_2$

Тут $r_g = \sqrt{x^2 + y^2}$ - горизонтальна дальність, а статистична матриця перерахунку $\vec{H} = \|\| dh_i/dw_j \|\|$ дорівнює

$$\vec{H} = \begin{vmatrix} x/r & y/r & z/r \\ y/r_g^2 & -x/r_g^2 & 0 \\ -xz/r^2 r_g & -yz/r^2 r_g & r_g/r^2 \end{vmatrix}.$$

Матриця точності вимірювання декартових координат $\vec{C}_w = \vec{H}^T \vec{C}_a \vec{H}$ зводиться до твору [3]:

$$\begin{vmatrix} \frac{x}{r} & \frac{y}{r_g^2} & -\frac{xz}{r^2 r_g} \\ \frac{y}{r} & -\frac{x}{r_g^2} & -\frac{yz}{r^2 r_g} \\ \frac{z}{r} & 0 & \frac{r_g}{r^2} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{1}{\sigma_r^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_\beta^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_\varepsilon^2} \end{vmatrix} \times \\ \times \begin{vmatrix} x/r & y/r & z/r \\ y/r_g^2 & -x/r_g^2 & 0 \\ -xz/r^2 r_g & -yz/r^2 r_g & r_g/r^2 \end{vmatrix}.$$

Елементи матриці точності \vec{C}_a визначаються такими рівностями [3]:

$$C_{11} = (x^2/r^2 \sigma_r^2) + (y^2/r_g^4 \sigma_\beta^2) + (x^2 z^2 / r^4 r_g^2 \sigma_\varepsilon^2),$$

$$C_{22} = (y^2/r^2 \sigma_r^2) + (x^2/r_g^4 \sigma_\beta^2) + (y^2 z^2 / r^4 r_g^2 \sigma_\varepsilon^2),$$

$$C_{33} = (z^2/r^2 \sigma_r^2) + (r_g^2/r^4 \sigma_\varepsilon^2),$$

$$C_{12} = C_{21} = xy \left[\left(\frac{1}{r^2 \sigma_r^2} \right) - \left(\frac{1}{r_g^4 \sigma_\beta^2} \right) + \left(\frac{x^2}{r^4 r_g^2 \sigma_\varepsilon^2} \right) \right],$$

$$C_{13} = C_{31} = xz \left[\left(\frac{1}{r^2 \sigma_r^2} \right) - \left(\frac{1}{r^4 \sigma_\varepsilon^2} \right) \right],$$

$$C_{23} = C_{32} = yz \left[\left(\frac{1}{r^2 \sigma_r^2} \right) - \left(\frac{1}{r^4 \sigma_\varepsilon^2} \right) \right].$$

Четверте та п'яте завдання виконуються на етапі ВОД. У процесі цієї операції оцінюється приналежність декількох оцінок з різних періодів огляду СС одному ПО, приймається рішення про наявність або відсутність ПО, а також обчислюються початкові значення параметрів траєкторії виявленого ПО.

У процесі спостереження за траєкторією в кожному огляді відбираються нові оцінки для продовження траєкторії, уточнюються параметри траєкторій з урахуванням координат нових оцінок, а також згладжування й прогнозування координат.

Ці операції виконуються на основі оцінок СС, отриманих у процесі ПОД в загальному випадку від декількох СС, котрі, як правило, знаходяться на однакових позиціях.

За рахунок здійснення ВОД вдається:

- поліпшити ймовірності правильних рішень при виявленні ПО;

- підвищити точність виміру координат ПО за рахунок міжоглядової фільтрації координат оцінок;
- визначити екстрапольовані значення координат і параметрів руху ПО.

Шосте завдання виконуються на етапі ТОД, що є поєднання даних різних СС за однойменними ПО з метою поліпшення характеристик спостереження:

- характеристик виявлення;
- характеристик вимірювання координат і параметрів руху ПО.

Ця процедура припускає виконання таких функціонально закінчених операцій:

- приведення позначок місця розташування ПО до єдиної системи координат;
- приведення позначок місця розташування ПО до єдиного часу відліку;
- ототожнення (ідентифікація) траєкторій, отриманих від декількох джерел по тому самому ПО;
- обчислення параметрів об'єднаних (усереднених) траєкторій.

Вищевикладене дозволяє відобразити структуру ІТ обробки даних СС у вигляді що наведена на рис. 1.

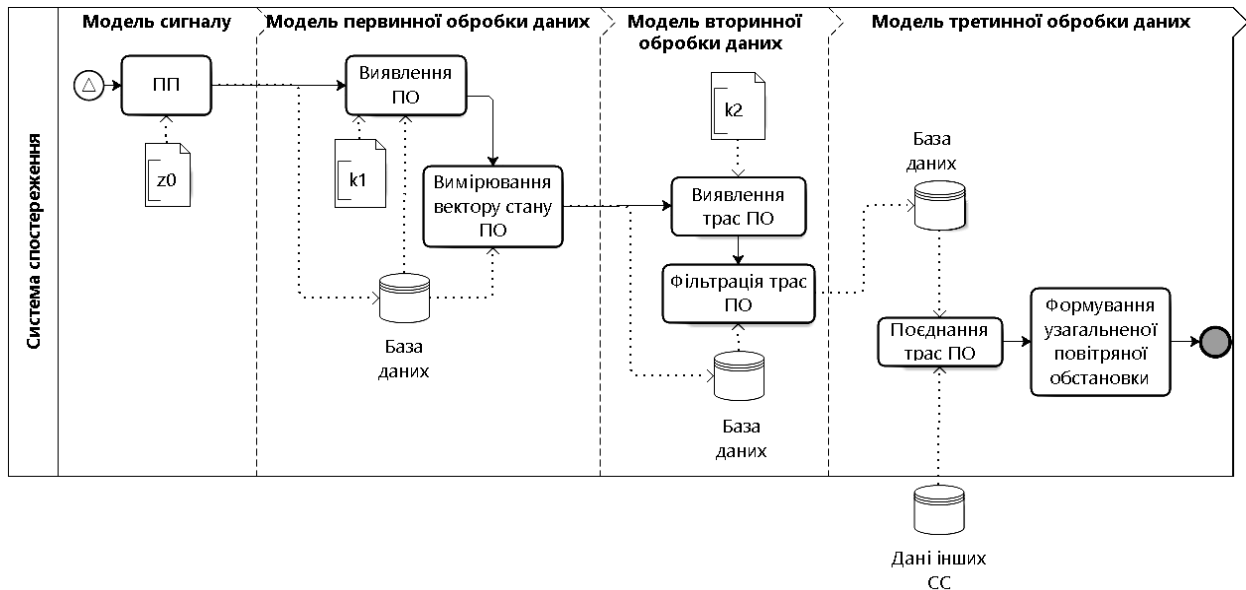


Рис. 1. Інформаційна технологія обробки даних систем спостереження

Висновки

Показано, що методологічну основу обробки даних СС ПП складають інформаційні технології за допомогою котрих здійснюється об'єднання інформаційних ресурсів і забезпечується в рамках єдиних стандартів збір, накопичення, обробка та представлення інформації для достовірного інформаційно-аналітичного забезпечення системи контролю ПП.

Список літератури

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии

в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004.

2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А.Фарина, Ф.Студер. - М.: Радио и связь, 1993. - 319 с.

3. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д.Ширман, В.Н.Манжос. - М.: Радио и связь, 1981. - 416 с.

Надійшла до редколегії 13.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХП», Харків.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

И.В. Свид, А.И. Обод

В статье на основе рассмотрения вопросов первичной, вторичной и третичной обработки данных, разработана структура информационной технологии обработки данных систем наблюдения воздушного пространства.

Ключевые слова: обработка данных, информационная технология, системы наблюдения.

INFORMATION TECHNOLOGY DATA MONITORING SYSTEMS

I.V. Svyd, A.I. Obod

The article, based on the consideration of issues of primary, secondary and tertiary processing of data, developed structure of information processing technology of air space surveillance systems.

Keywords: data processing, information technology, surveillance systems.

УДК 004.85:004.82

Т.С. Ткачова

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ОРГАНІЗАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ У CLOUD-СЕРЕДОВИЩІ

У статті запропонований опис ідеї створення хмарного сервісу для організаційно-комунікаційного забезпечення управлінням бізнес процесами на підприємстві. Проблема, яку покликаний вирішувати даний сервіс - це база хмари яка пропонується з метою забезпечення швидкого та ефективного керування процесами соціально-економічного розвитку підприємства, адміністрування департаментів підприємства. Обраний спосіб управління бізнес процесами на підприємстві зорієнтовано на підвищення конкурентоспроможності підприємства як основу його динамічного розвитку.

Ключові слова: *смарт технології, хмарний сервіс, веб-сервіс, соціально-економічний розвиток, бізнес планування.*

Постановка проблеми

Сучасна система управління підприємством це запровадження стратегічного планування на всіх рівнях адміністративних одиниць. Завдяки хмарним технологіям, як одному з провідних трендів в світі інформаційно-комунікаційних технологій можна запровадити якісно нову систему управління бізнес процесами підприємства, а також ефективний менеджмент процесів на рівні підрозділу. Розгортання моделі інформаційно-комунікаційної інфраструктури розповсюджують це програмного забезпечення для отримання ресурсів для прогнозування та управління.

Але популярними зараз є платні інфраструктури, так звані хмарні сервіси - додатки в браузері, сховища на хмарних жорстких дисках, засоби синхронізації інформації користувача на мобільних пристроях [1].

Хмарна технологія настільки ж складна всередині, наскільки і проста зовні.

Основна концепція хмар - надання ресурсів як інтернет-сервісу. Разом з тим актуалізація питання побудови хмарного сервісу стає найдалше актуальною, тому розгортання хмарного сервісу для організаційно-комунікаційного управління підприємством є необхідною зміною на рівні менеджменту процесів підприємства.

В роботі запропоновано метод вирішення задачі організаційно-комунікаційного планування роботи хмарного сервісу для управління бізнес процесами на підприємстві.

Метою даної статті є аналіз концепції соціально-економічного розвитку підприємств для організаційно-комунікаційного планування роботи хмарного сервісу для промислового підприємства. Для організації роботи хмари необхідним і достатнім є розуміння що таке хмарні обчислення та на основі

чого їх можна застосовувати на промисловому підприємстві. По перше в основі електронного документообігу на підприємствах може буди електронний цифровий підпис, а також безперервний доступ до електронної документації на корпоративній електронній пошті. Використанням хмарних обчислень у такому випадку може бути документація у табличному вигляді такому як Excel, у якому є надбудова Power Pivot котра вирішує проблеми об'єднання великого обсягу таблиць та даних в них в, так звані, OLAP куби для аналізу, прогнозування і звіту. Технологія OLAP дозволяє працювати онлайн всім робітникам одного департаменту або декількох департаментів і бачити всі зміни які відбуваються у хмарі підприємства.

У більшості підприємств інфраструктура електронної документації не достатньо використовується, а в деяких випадках використовується на достатньо низькому рівні, тому запропонована система інформаційно-комунікаційного забезпечення управління підприємством є корисною і у випадках коли документація ведеться у електронному вигляді частково, або зберігається на сервері.

Для того, щоб збалансувати використання ресурсів в даній роботі запропоновано використання хмарних технологій. Платформа для системи менеджменту бізнес-процесів та електронного документообігу працює в приватній хмарі, нові методології повинні бути прийняті до уваги для проекту, заснованого на проблемі віртуальної комп'ютерної лабораторії. Цей тип хмари на основі приватного, закритого сховища надає нові змішані методології, використання яких може бути корисним і для підприємства в цілому. У запропонованому методі схову, аналізу та підзвітності, база хмари пропонується з метою забезпечення швидкого та ефективного керування процесами електронного документообігу, адміністрування.

Аналіз предметної області та специфікація розробленого програмного забезпечення

Об'єктом дослідження є інноваційні процеси формування системи управління промисловим підприємством, електронним документообігом та персоналом, які спрямовані на підвищення продуктивності праці та збереження інформації та новітніх розробок, а також інтеграція підприємства у світову спільноту для сумісних розробок. Сучасне підприємство має обов'язково кореспондуватися із сучасними, прогресивними процесами менеджменту інших підприємств. Це посилюється знанням роботи з хмарними сервісами та стають все більш популярним інструментом для керування великими промисловими підприємствами, а в нашому випадку це система для організаційно-комунікаційного управління та ефективного менеджменту на підприємстві. Одним з найважливіших факторів ефективного менеджменту на підприємстві, бюджетної організації є документообіг – це безперервний процес проходження документів, що об'єктивно відображає діяльність самого підприємства та дає змогу оперативно керувати ним. Великий обсяг архівної інформації, довготривалий пошук необхідного документу, втрати, дублікати, затримки пов'язані з відправкою та одержанням, помилки персоналу – це не повний перелік проблем, що виникають при неефективній побудові документообігу великого промислового підприємства. Для ефективного використання інформації роботи підприємства запропоновано користуватись OLAP кубами для вирішення проблеми аналізу та звітності роботи підприємства. При роботі з великими обсягами даних, а також коли потрібна інформація з інших департаментів підприємства система хмарного забезпечення роботи підприємства стає дуже важливим кроком у підсистемі прийняття рішень. Звіти генеруються автоматично у хмарі кожен період часу, який був заданий. На основі звіту також автоматично, використовуючи вже задані значення система може робити класифікацію та прогноз роботи підприємства по тому чи іншому напрямку діяльності, але все це неможливо якщо всі підрозділи не будуть в єдиній електронній системі, а точніше приватній хмарі підприємства. Вище зазначені умови сприяють динамічному розвитку підприємства.

Документообіг є важливим для правильної організації управлінської роботи підприємства та організаційно-комунікаційного розвитку. Перевага електронного документообігу над традиційним є безперечною, адже основною проблемою традиційної технології управління документообігом є практична неможливість централізовано відслідкувати рух документів організації.

Для виконання поставленої задачі було прийнято рішення використовувати хмарний сервіс для забезпечення потреб підприємства.

Для досягнення поставленої організаційно-комунікаційного управління та планування роботи хмарного сервісу був визначений зміст для досліджень і вирішення таких задач:

- розробити концептуальні положення організаційно-комунікаційного управління як функції для управління електронним підприємством;

- обґрунтувати трактування стратегічного планування та соціально-економічного розвитку підприємства відповідно до особливостей та вимог промислових підприємств на сучасному етапі розвитку;

- сформувати методологічні положення організаційно-комунікаційного планування як функції управління;

- сформувати інструментарій для реалізації впровадження хмарної технології в бюджетній установі підприємства.

Побудова математичної моделі для об'єкта дослідження

На промисловому підприємстві є підходи до формування системи моніторингу, аналізу та передбачення і два види документної інформації – структурована і неструктурована. Не структурована інформація це та інформація яка ще не у вигляді таблиць Excel з якими розроблена система працює. Між тим є велика кількість структурованої інформації, створення, опрацювання і передавання якої забезпечують корпоративні інформаційні системи. Закономірним етапом розвитку на підприємстві організаційно-комунікаційного управління на рівні адміністрації є стратегія соціально-економічного розвитку мезосистем. Це департаменти, які працюють безпосередньо із даними та їх обробкою. Ці департаменти забезпечують створення та опрацювання інформації про роботу підприємства в цілому, у нашому випадку - це перш за все розроблена стратегія на всіх рівнях управління. Соціально - економічний розвиток підприємства є головною передумовою для його конкурентоспроможності, а використання smart технологій є однією з найважливіших передумов для аналізу великих обсягів неструктурованих даних. За основу розвитку підприємства економічного і соціального необхідно розрахувати частки виробництва з часткою чисельності працюючих.

Робота в хмарі цікава тим, що можна працювати з неструктурованою інформацією, як описано вище, і бути впевненим у тому, що вся інформація буде структурована та опрацьована з математичною точністю за допомогою інтелектуального аналізу даних, а у нашому випадку за допомогою роботи з OLAP.

Процес обробки інформації відбувається за допомогою безкоштовного сервісу RapidMiner, де підприємствам легко масштабувати дані, створювати прогноуючі моделі та впроваджувати аналіз в дію в будь-який бізнес-процес, котрий відбувається на підприємстві.

Основна мета - дати аналітику можливість працювати з великими обсягами вихідних даних за рахунок автоматизації процесу вилучення потрібної інформації. За допомогою технологій Data Mining і Text Mining можна легко провести смисловий аналіз документів на підприємстві, забезпечити навігацію і пошук в неструктурованих текстах. За допомогою технологій Data Mining можна аналізувати та прогнозувати діяльність підприємства, застосовуючи побудовані на основі аналізів звіти користувачі зможуть отримати нову цінну інформацію для організаційно-комунікаційного планування роботи

Підприємства, а метод, який використовувався в роботі це кластеризація та прогнозування.

Використання запропонованої моделі дозволяє організувати оптимальним чином процес роботи хмари за допомогою математичних методів інтелектуального аналізу даних та створити систему планування моніторингу та оцінювання реалізації стратегій організаційно-комунікаційного планування роботи підприємства.

ВИСНОВКИ

У даній статті запропонована система для організаційно-комунікаційного планування роботи підприємства, а також знаходить своє відображення опис ідеї та реалізації створення системи стратегічного планування роботи хмарного сервісу для управління бізнес процесами на промисловому підприємстві.

В розробленій системі були зазначені основні функції роботи промислового підприємства, а також його конкурентоспроможність. Для цього був проведений аналіз предметної області. На підставі цього була проведена постановка завдання та використано безкоштовний програмний продукт RapidMiner для аналізу даних.

Розроблена концепція програмного продукту, а також документація до нього, розроблений сервіс достатньо надійний та захищений та володіє широким функціоналом.

Список літератури

1. Закон України Про електронні документи та електронний документообіг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/851-15>
2. Закон України Про електронний цифровий підпис [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/852-15>
3. Основи електронного документообігу. Електронний цифровий підпис [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://nc.gov.ua/communication/learning/course/index.php?COURSE_ID=2&TYPE=Y
4. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации. 2-е изд., испр. и доп. / Р.А. Фатхутдинов. – М. : Эскиммо, 2005. – 544 с.
5. Тарасевич В. Про синергетику інновацій / В. Тарасевич // Економіка України. – 2009. – № 4. – С. 65-73
6. Сльньков В.Н. Персонал и его менеджмент : практические рекомендации / В.Н. Сльньков. – К. : КНТ, 2007. – 198 с.
7. Бажал Ю. М. Знання економіка: теорія і державна політика // Економіка і прогнозування. – 2003. – № 3. – С. 71 – 86.
8. Pattern Recognition and Machine Learning — Christopher M. Bishop. – С. 461.

Надійшла до редакції 1.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ОРГАНИЗАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В CLOUD- СРЕДЕ

Т.С. Ткачѳва

В статье предложен описание идеи создания облачного сервиса для организационно-коммуникационного обеспечения управлением бизнес процессами на предприятии. Проблема, которую призван решать данный сервис - это база облака которая предлагается с целью обеспечения быстрого и эффективного управления процессами социально-экономического развития предприятия, администрирования департаментов предприятия. Выбранный способ управления бизнес процессами на предприятии ориентирован на повышение конкурентоспособности предприятия как основу его динамического развития.

Ключевые слова: smart технологии, облачный сервис, веб-сервис, социально-экономическое развитие, бизнес планирование.

ORGANIZATIONAL AND COMMUNICATION SOFTWARE ENTERPRISE MANAGEMENT ENVIRONMENT IN CLOUD

T.S. Tkachova

In the article the description of the idea of a cloud service for organizational and communication software management business processes in the enterprise. The problem, which is designed to tackle this service - it is a cloud base is proposed in order to ensure the rapid and effective management of social and economic development of the enterprise, the enterprise management department. The selected method of business process management in the company is focused on improving the competitiveness of enterprises as the foundation of its dynamic development.

Keywords: smart technology, cloud service, a web service of socio-economic development, business planning.

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В МЕТРОЛОГІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНИХ ЧАСОВИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

В статті запропонований метод прогнозування потреби в метрологічному обслуговуванні засобів вимірювальної техніки зразків ОВТ, заснований на використанні удосконалених часових регресійних моделей.

Ключові слова: метрологічне обслуговування, військові засоби вимірювальної техніки, регресійна модель.

Вступ

Постановка задачі. Для забезпечення своєчасного метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) бажано вдосконалити управління силами й засобами метрологічного забезпечення та здійснювати прогнозування стану військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ). Від точності та достовірності прогнозу залежить ефективність реалізації управлінських рішень як в частині оцінки потреби метрологічного обслуговування зразків ОВТ, так і в частині визначення кількості сил і засобів, які використовуються в метрологічних підрозділах Збройних Сил України, та їх розподілу. Наукове обґрунтування прогнозування потреби в військових засобів вимірювальної техніки зразків ОВТ для метрологічного обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз літератури. В [1 – 3] розглянуті питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Питання прогнозування на основі регресійних моделей розглянуті в [4, 5]. Разом з тим, в цих працях не розглядалися методи розв'язання завдань прогнозування, що враховують можливі поточні зміни результатів прогнозування та зміни стану військової ситуації.

Метою статті є обґрунтування методу прогнозування потреби в метрологічному обслуговуванні ВЗВТ зразків ОВТ на основі удосконалених часових регресійних моделей.

Основний матеріал

Для прогнозування кількості ВЗВТ кожного типу для метрологічного обслуговування в залежності від часу будемо враховувати вплив багатьох факторів у найбільш складному випадку, коли не представляється можливим відокремити їх взаємний вплив. У зв'язку з цим змінення значення залежної змінної пов'язується не з якимось конкретними факторами, а зі зміненням часу.

Задача прогнозування ставиться таким чином: відома статистична інформація о кількості замовлень ВЗВТ у різні проміжки часу $y_t; t = \overline{1, n}$ і необхідно дати прогноз на момент $n + \tau$. Якщо розглядати часовий ряд як регресійну модель з незалежною змінною "час":

$$Y_t = f(t) + \varepsilon, \quad (1)$$

то до нього можуть бути застосовані розглянуті методи регресійного аналізу.

Регресійна модель прогнозування повинна враховувати військову ситуацію, що склалася в даний час навколо України. Звідси крім кількісного фактору час, що впливає на залежну змінну, слід враховувати ще й якісний фактор, що описує зміни військової ситуації. Якісні фактори можуть суттєво впливати на структуру зв'язків між змінними й приводити до суттєвих змін технічного стану зразків ОВТ, що потрібно врахувати в регресійній моделі. Запропонуємо наступний метод корегування результатів аналізу, який дозволяє оцінювати вплив значень як кількісних, так й якісних факторів, наприклад, якісного фактору "мирний час - АТО - воєнний час" на залежну змінну за допомогою так званих фіктивних змінних [4]. У якості регресійних моделей для прогнозу з врахуванням фактору "мирний час – АТО – воєнний час" пропонуються такі моделі:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \alpha_1 \gamma_1 + \alpha_2 \gamma_2 + \varepsilon_t; \quad (2)$$

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \alpha_1 \eta_1 + \alpha_2 \eta_2 + \varepsilon_t; \quad (3)$$

$$Y_t = \beta_0 t^{\beta_1} \mu_1^{\alpha_1} \mu_2^{\alpha_2} + \varepsilon_t; \quad (4)$$

$$Y_t = \exp(\beta_0 + \beta_1 t + \alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2) + \varepsilon_t, \quad (5)$$

де $\gamma_2(\eta_2, v_2) = \begin{cases} 1, & \text{якщо ситуація відповідає АТО;} \\ 0, & \text{випадки, що залишилися;} \end{cases}$

$\gamma_1(\eta_1, v_1) = \begin{cases} 1, & \text{ситуація відповідає воєнному часу;} \\ 0, & \text{випадки, що залишилися;} \end{cases}$

$\mu_1 = \begin{cases} 3, & \text{якщо ситуація відповідає воєнному часу;} \\ 1, & \text{випадки, що залишилися;} \end{cases}$

$\mu_2 = \begin{cases} 2, & \text{якщо ситуація відповідає АТО;} \\ 1, & \text{випадки, що залишилися.} \end{cases}$

Для оцінки параметрів наведених моделей будемо застосовувати метод найменших квадратів:

$$\sum_{t=1}^n (y_t - f(t))^2 \rightarrow \min ; \quad (6)$$

для перевірки адекватності моделей - критерій Фішера [4, 5].

Для оцінки якості моделей використовуємо:
- скоригований коефіцієнт детермінації [4]

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-m-1} (1 - R^2), \quad (7)$$

де $R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ - коефіцієнт детермінації; n - кількість спостережень; m - кількість параметрів при змінних x;

- середню абсолютну похибку у відсотках [6]:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (8)$$

середню відсоткову похибку [6]

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Для оцінки ступеню апроксимації спостережень рівнянням регресії будемо виходити з наступних емпіричних правил [6,7]:

- 1) $\hat{R}^2 > 0,95$ - висока точність апроксимації;
- 2) $0,7 < \hat{R}^2 < 0,95$ - задовільна апроксимація;
- 3) $\hat{R}^2 < 0,6$ - незадовільна апроксимація;
- 4) допустима межа значень MAPE - $\leq 8-10\%$;
- 5) показник $|MPE| \leq 5\%$.

Розглянемо ілюстративний приклад прогнозування метрологічного обслуговування засобів виміральної техніки (ЗВТ) на 16-й період, якщо відомі статистичні дані замовлень за 1 – 15 періоди для ситуації "мирний час – АТО" (табл. 1).

Таблиця 1

Значення замовлень ЗВТ

Період	ЗВТ	
	Кількість	Військова ситуація
1	118	Мирний час
2	123	Мирний час
3	127	Мирний час
4	124	Мирний час
5	131	Мирний час
6	136	Мирний час
7	130	Мирний час
8	138	Мирний час
9	142	Мирний час
10	144	Мирний час
11	141	Мирний час
12	143	Мирний час
13	145	Мирний час
14	173	АТО
15	175	АТО

Для визначення прогнозу будемо використовувати спочатку регресійні моделі (1) – (5) без врахування впливу якісного фактору.

1. Лінійна модель: $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$ (табл. 2).

Таблиця 2

Результати розрахунку лінійної моделі

Лінійна модель $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$: параметри	
b_0	109,89
b_1	3,87
$F_{факт}$	32,11
$F_{табл} = F_{0,05;1;13}$	4,67
\hat{R}^2	0,69
MAPE	5,18%
MPE	-0,38%

Параметри лінійної моделі розраховуються за формулою

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (10)$$

де $b = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_m]^T$ - вектор параметрів рівняння регресії; $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ - вектор значень залежної змінної;

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} - \text{матриця значень}$$

факторів.

Таким чином, рівняння регресії для прогнозування метрологічного обслуговування ЗВТ є таким:

$$\hat{y}_t = 109,89 + 3,87t. \quad (11)$$

Оскільки $F_{факт} > F_{табл}$, рівняння регресії значуще на рівні значущості 0,05. Коефіцієнт детермінації дорівнює $\hat{R}^2 = 0,69$, що відповідає задовільній оцінці якості регресії. Показники ефективності моделі MAPE < 8% та $|MPE| < 5\%$, що відповідає добрій якості моделі.

2. Квадратична модель: $\hat{y}_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon_t$ (табл. 3).

Таблиця 3

Результати розрахунку квадратичної моделі

Квадратична модель $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon_t$	
Параметри	
b_0	122,98
b_1	-0,24
b_2	0,22
$F_{факт}$	27,02
$F_{табл} = F_{0,05;1;13}$	3,89
\hat{R}^2	0,84
MAPE	3,31%
MPE	-0,15%

Параметри моделі розраховуються як рішення наступної задачі оптимізації:

$$S(b_0, b_1, b_2) = \sum_{i=1}^{15} (b_0 + b_1 i + b_2 i^2 - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (12)$$

за допомогою процедури "Поиск решения" MS Excel. Звідси, рівняння регресії має такий вигляд:

$$\hat{y}_t = 122,98 - 0,24t + 0,22t^2. \quad (13)$$

Оскільки $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, рівняння регресії значуще на рівні значущості 0,05. Коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2 = 0,84$, що відповідає задовільній оцінці якості регресії. Показники ефективності моделей $\text{MAPE} < 8\%$ та $|\text{MPE}| < 5\%$, що відповідає добрій якості моделей.

3. Степенева модель: $Y_t = \beta_0 t^{\beta_1} + \varepsilon_t$ (табл. 4).

Таблиця 4

Результати розрахунку степеневі моделі

Степенева модель $Y_t = \beta_0 t^{\beta_1} + \varepsilon_t$	
Параметри	
b_0	105,32
b_1	0,15
$F_{\text{факт}}$	13,30
$F_{\text{табл}} = F_{0,05;1;13}$	4,67
\hat{R}^2	0,57
MAPE	6,67%
MPE	0,54%

Параметри моделі розраховуються як рішення задачі оптимізації:

$$S(b_0, b_1) = \sum_{i=1}^{15} (b_0 i^{b_1} - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (14)$$

за процедурою "Поиск решения" MS Excel. Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y}_t = 105,32t^{0,15}. \quad (15)$$

Оскільки $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, рівняння регресії значуще на рівні значущості 0,05. Коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2 = 0,57$ відповідає незадовільній оцінці якості. Показники ефективності моделі $\text{MAPE} < 8\%$ та $|\text{MPE}| < 5\%$, що відповідає добрій якості моделей за цими показниками.

4. Експоненціальна модель: $Y_t = \exp(\beta_0 + \beta_1 t) + \varepsilon_t$ (табл. 5).

Параметри моделі розраховуються як рішення задачі оптимізації:

$$S(b_0, b_1) = \sum_{i=1}^{15} (\exp(b_0 + b_1 i) - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (16)$$

за процедурою "Поиск решения" MS Excel.

Отже, рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y}_t = \exp(4,71 + 0,03t). \quad (17)$$

Таблиця 5

Результати розрахунку експоненціальної моделі

Експоненціальна модель $Y_t = \exp(\beta_0 + \beta_1 t) + \varepsilon_t$	
Параметри	
b_0	4,71
b_1	0,03
$F_{\text{факт}}$	43,35
$F_{\text{табл}} = F_{0,05;1;13}$	4,67
\hat{R}^2	0,75
MAPE	4,94%
MPE	0,28%

Оскільки $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, рівняння регресії значуще на рівні значущості 0,05. Коефіцієнт детермінації дорівнює $\hat{R}^2 = 0,75$, що відповідає задовільній оцінці якості відповідно. Показники ефективності моделей $\text{MAPE} < 8\%$ та $|\text{MPE}| < 5\%$, що відповідає добрій якості моделі.

Таким чином, всі моделі за критерієм Фішера являються значущими на рівні значущості 0,05, тобто адекватними, і можуть використовуватися для прогнозу. Найкращою з них є квадратична модель. Прогноз для метрологічного обслуговування на 16-й період дорівнює:

$$\hat{y}_t(16) = 122,98 - 0,24 \cdot 16 + 0,22 \cdot 16^2 \approx 176.$$

Будемо вважати, що й у випадку використання якісного фактору "мирний час – АТО" квадратична модель є найкращою, та виконаємо прогноз для метрологічного обслуговування ЗВТ на 16-й період на її основі:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \alpha \eta, \quad (18)$$

де $\eta = \begin{cases} 1, & \text{якщо ситуація відповідає АТО} \\ & \text{у відповідному проміжку часу;} \\ 0, & \text{якщо ситуація відповідає мирному часу.} \end{cases}$

Параметри моделі розраховуються як рішення наступної задачі оптимізації:

$$S(b_0, b_1, b_2) = \sum_{i=1}^{15} (b_0 + b_1 i + b_2 i^2 + \alpha \eta_i - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (19)$$

за процедурою "Поиск решения" MS Excel (табл. 6).

Звідси, рівняння регресії має такий вигляд:

$$\hat{y}_t = 117,46 + 2,54t - 0,02t^2 + 35,15\eta. \quad (20)$$

Оскільки $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, рівняння регресії значуще на рівні значущості 0,05. Коефіцієнт детермінації $\hat{R}^2 = 0,92$, що відповідає добрій оцінці якості. Показники ефективності моделі $\text{MAPE} < 8\%$ та $|\text{MPE}| < 5\%$, що відповідає добрій якості моделі.

Таким чином, рівняння регресії з врахуванням якісного фактору (20) має кращі показники якості ніж рівняння регресії без врахуванням якісного фактору (13).

Таблиця 6
Результати розрахунку
квадратичної моделі
з врахуванням якісного фактору

Квадратична модель $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon_t$	
Параметри	
b_0	117,46
b_1	2,54
b_2	-0,02
η	35,15
$F_{\text{факт}}$	29,97
$F_{\text{табл}} = F_{0,05;1;13}$	3,59
\hat{R}^2	0,92
MAPE	2,41%
MPE	0,1%

Визначимо прогноз на 16-й період для ситуації "мирний час":

$$\hat{y}_t(16) = 117,46 + 2,54 \cdot 16 - 0,02 \cdot 16^2 + 35,15 \cdot 0 \approx 147$$

та для ситуації "АТО":

$$\hat{y}_t(16) = 117,46 + 2,54 \cdot 16 - 0,02 \cdot 16^2 + 35,15 \cdot 1 \approx 182.$$

Слід зауважити, що прогноз для ситуації "АТО" за обома рівняннями достатньо близькі: 176 та 182. Однак, для прогнозу в ситуації "мирний час" рівняння регресії (13) є непридатним (дає той же результат, як й для ситуації "АТО"), оскільки не враховує якісний фактор.

Висновки

1. В статті запропонований метод прогнозування потреби в метрологічному обслуговуванні військових засобів вимірювальної техніки зразків ОБТ, заснований на використанні часових регресійних моделей.

2. Удосконалені часові регресійні моделі прогнозування кількості ВЗВТ для метрологічного обслуговування, в яких крім кількісних факторів, що враховують кількість зразків ОБТ кожного виду, додатково введений якісний фактор, що враховує можливий стан військової ситуації (мирний час, АТО). Вплив якісного фактору враховується за рахунок використання фіктивних змінних.

3. Для отримання незміщених оцінок параметрів нелінійних регресійних моделей запропоновано на відміну від лінеаризації моделей використовувати методи оптимізації із застосуванням програмного забезпечення ПЕВМ.

Список літератури

1. Кузнецов І. Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 : навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
2. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння ЗС України "Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у ЗС України" від 1.06.2001 № 79.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації "Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України" від 14.05.2007 № 2.
4. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 311 с.
5. Четыркин Е.М.. Статистические методы прогнозирования / . Е.М. Четыркин. – М.: "Статистика, 1975.- 184 с
6. Мур Дж., Уэдерфорд Л.Р. Экономическое прогнозирование в Microsoft Excel. 6 изд. / Дж. Мур, Л.Р. Уэдерфорд.- М.: Вильямс, 2004.- 1024 с.
7. Гельман В.Я. Решение математических задач средствами Excel /В.Я. Гельман. - М.; Питер, 2008. – 235 с.

Надійшла до редколегії 8.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ВРЕМЕННЫХ ЧАСОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Ю.И. Шевяков

В статье предложен метод прогнозирования потребности в метрологическом обслуживании средств измерительной техники образцов ВВТ на основе использования усовершенствованных часовых регрессионных моделей.

Ключевые слова: метрологическое обслуживание, средства измерительной техники, регрессионная модель, фиктивные переменные.

METHOD FOR PREDICTING THE NEED FOR METROLOGICAL MAINTENANCE OF MEASURING MEANS OF MEASURING TECHNIQUES BASED ON IMPROVED TIME-TIME CLOCK MODELS

Yu.I. Shevyakov

The article proposes a method for forecasting the need for metrological servicing of measuring equipment of IWT models based on the use of advanced hour regression models.

Keywords: metrological service, means of measuring equipment, regression model, dummy variables.

Управління проектами

УДК 004.415:338.33

Д.Э. Лысенко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ПРИНЦИПЫ И СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПЛАНОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматриваются основные принципы методологии проактивного управления развитием промышленного предприятия с учетом оценок реализуемости планов. Объект исследования представляется в виде обобщенных системных моделей с использованием теоретико-множественного представления и структурно-функционального подхода. Разрабатывается формализованное представление иерархической функциональной структуры элементов предприятия и соответствующая структура показателей реализуемости требований по их развитию. Формируется детальное описание элементов обобщенной иерархической структуры предприятия. Производится формализация ресурсного обеспечения для развития предприятия как целеориентированной системы. Сформирована структура методологии проактивного управления, которая основана на функциональном подходе и категориях квалиметрии и отражает процесс получения локальных и интегральной оценок с учетом реальных возможностей предприятия.

Ключевые слова: инновационное развитие, системный подход, декомпозиция, оценка реализуемости.

Введение

Развитию методологической базы управления инновационной деятельностью уделяется большое внимание как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1, 2]. Под инновацией понимают внедрение изобретений и научно-технических разработок в производство с целью получения прибыли. Полученная за счет инновации прибыль может быть направлена на разработку и внедрение новых видов продукции и технологий. Кроме того, инновационная деятельность является важным источником инвестиций и финансирования. Поэтому в инновационном менеджменте внимание уделяется экономическим и финансовым аспектам инноваций [3 – 5].

В то же время, результат внедрения инновации, в силу своей новизны, обладает значительной степенью неопределенности и является источником рисков. Поэтому оценка реализуемости планов инновационного развития предприятий является обязательным этапом их разработки. Целью оценки реализуемости планов развития предприятий является определение степени их соответствия ресурсам и средствам, выделяемыми на их выполнение.

Проблема оценки реализуемости планов инновационного развития особенно актуальна и для предприятий и отраслей, в которых высока доля научно-исследовательских работ [6, 7]. Для оценки реализуемости таких планов и программ необходим специальный инструментарий, позволяющий учитывать степень риска, возможную неопределенность результатов научных исследований, неполноту исходной информации [8, 9].

Постановка задачи

Исследование реализуемости планов инновационного развития ввиду комплексного характера решаемых задач обуславливает применение системного подхода. Системная концепция планирования является прямым следствием комплексного рассмотрения этого процесса как со стороны управляющей системы, реализующей целенаправленную деятельность субъектов планирования, так и со стороны управляемой системы, т. е. самого объекта планирования и субъекта исполнения.

Таким образом, объект исследования является сложной системой, обладающей следующими свойствами:

- 1) иерархическая структура целей,
- 2) наличие большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- 3) многофункциональность системы и составляющих ее элементов;
- 4) наличие постоянного обмена информацией между элементами;
- 5) изменчивость в алгоритмах функционирования, что связано с адаптируемостью системы к возникающим новым задачам и условиям функционирования;
- 6) управление системой носит многоуровневый иерархический характер.

Перечисленные особенности предприятий по производству новой сложной техники вызывают необходимость разработки и внедрения в практику планирования новых методов анализа их функционирования и развития, основанных на системном

підході. Основой пропонуваної методології являється проактивне управління, яке передбачає прийняття рішення з урахуванням передбачення можливих труднощів в процесі розвитку і способів їх подолання (в відміння від реактивного, при якому рішення приймається по результатам уже виниклих проблем).

Реалізуємість планів розвитку слід розглядати як сукупність визначаючих властивостей, враховуючи взаємозв'язок з технічними і функціональними можливостями виробництва. Звідси випливає необхідність системного дослідження якості процесу створення інноваційної продукції при всебічному комплексному аналізі умов і факторів, впливаючих на цей процес. Аналіз якості виробництва здійснюється з використанням методів кваліметрії. Предметами вивчення кваліметрії є проекти, діяльність, праця і продукція, а також завдання аналізу якості об'єктів і процесів.

Системний підхід передбачає створення моделі об'єкта, що дозволяє оцінити і передбачити можливість досягнення мети інноваційного розвитку в існуючих умовах виробництва. Системна модель дозволяє описати визначену групу властивостей підприємства, вона повинна забезпечувати можливість деталізації об'єкта по наступним аспектам представлення:

- структурний (морфологічний) – ієрархічна структура підприємства;
- функціональний – структура функцій і функціональне взаємодія елементів;
- організаційний – структура виконавців і оцінка їх можливостей по реалізації робіт.

Основною даним дослідження є структурно-функціональний підхід. Цілесобразність його застосування обґрунтована тим, що основні вимоги планів інноваційного розвитку передбачають модернізацію функціональних підрозділів підприємства, а саме підприємство має складну ієрархічну структуру. Необхідно розробити формалізоване представлення ієрархічної функціональної структури елементів підприємства і відповідну структуру показувачів реалізуємість вимог по їх розвитку, а також детальне описання елементів обобщеної ієрархічної структури підприємства.

Викладені аспекти дослідження підприємства викликають також необхідність обґрунтування системи принципів пропонуваної методології проактивного управління. Необхідно розробити структуру методології для визначення основних елементів оцінки якості функціональних підрозділів підприємства, відповідні моделі і методи отримання оцінок реалізуємість, що становлять основу для прийняття рішень на етапі планування розвитку підприємства.

Структурний і функціональний підходи при оцінці реалізуємість

Системність реалізуємість планів розвитку розкривається в єдності розгляду структурних і функціональних властивостей виробничого підприємства.

Функціональний аспект визначає сукупність властивостей, якими повинно володіти підприємство при виконанні визначених функцій, що випливають з його призначення. Функції визначаються технологічними характеристиками, які можуть бути реалізовані відповідним технічним забезпеченням (обладнанням).

Аналіз техніко-економічних показувачів підприємства, виходячи з його можливостей, дозволяє судити про якість виробництва. Таким чином, розкриття функціонального аспекту реалізуємість планів розвитку складається в виявленні функцій елементів і визначенні можливості їх реалізації.

Структурний аспект визначається внутрішніми властивостями виробництва, що проявляються в взаємодії її складових. Динамічні характеристики визначають якість структури. Для складної структури виробництва (включаючої різні фази обробки і поточкові технологічні процеси) необхідно погодження параметрів застосовуваних технічних засобів. Розкриття структурного аспекту якості складається в виявленні взаємозв'язку внутрішніх властивостей з реалізуємістю як інтеграційним властивістю виробництва.

Структурно-функціональний підхід (СФП) оснований на представленні об'єкта в формі декомпозиційного множини підсистем і елементів. Кожній структурній одиниці ставиться в відповідності функція, яку вона виконує в системі.

Обозначимо Φ_k і TX_k – функціональне призначення і технічні характеристики відповідних елементів виробничої системи (k-го рівня ієрархії). В результаті аналізу взаємозв'язку характеристик елементів нижнього рівня можуть бути змінені характеристики породжуємого елемента. При цьому використовується S_k – оператор композиції характеристик верхнього рівня TX_k на основі множини характеристик елементів нижнього рівня:

$$TX_k \leftarrow S_k \{TX_{k-1}\}. \quad (1)$$

Реальні характеристики, що утворюються після композиції, не завжди збігаються з плануваними. Оцінка реалізуємість формується в результаті аналізу функціональних характеристик елемента і оціночних показувачів виробництва, вона відображає можливість виконання заданих функцій з реальними технічними характеристиками виробництва і позначається $W(TX, \Phi)$.

Обычно

$$W(TX', \Phi) \leq W(TX, \Phi), \quad (2)$$

где $W(TX', \Phi)$ - возможность выполнения функций с планируемыми техническими характеристиками.

Таким образом, при СФП первичной является структурная (морфологическая) декомпозиция, а вторичной - функциональная.

Функционально-структурный подход (ФСП) основан на разделении цели объекта на составляющие ее функции различных уровней, т. е. на раскрытии функциональной структуры качества. На каждом шаге декомпозиции выявляются структурные элементы, выполняющие эти функции. Декомпозиция позволяет представить реализуемость характеристик объекта в виде иерархически организованной структуры показателей реализуемости характеристик функциональных модулей различных уровней ($W_{1j}, W_{2j}, \dots, W_{nj}$), где $1, \dots, n$ – номера элементов j -го уровня.

При ФСП первичной является функциональная декомпозиция, а вторичной - структурная. Функционально-структурный подход применяется при оценке планов выпуска инновационной продукции для получения показателей реализуемости составляющих элементов плана и интегральной оценки качества предприятия.

Так как основой системного представления объекта исследования принят функционально-структурный подход, рассмотрим с формальной точки зрения особенности функциональной структуры предприятия и определим соответствующую структуру показателей реализуемости развития ее элементов. При использовании системного подхода качество функционирования системы определяется как эффективность ее целевого применения и характеризуется совокупностью показателей системы. Система может считаться эффективной, если требования обеспечены соответствующими значениями характеристик подсистем.

При планировании инновационного развития может возникнуть противоречие между потребностями на создание новой техники и возможностями удовлетворения этих потребностей при существующем научно-техническом уровне предприятия. На функциональном уровне - это противоречия между необходимостью реализовать определенные функции и ограничениями возможностей их технического исполнения.

Кроме того, существуют внутриуровневые противоречия - это, например, множественность вариантов технологической реализации элементов новой техники. Отражением такого противоречия является множественность способов реализации функций нижнего уровня, обеспечивающих выполнение функций верхнего уровня.

Рассмотрим фрагмент функциональной структуры объекта - предприятия (рис. 1).

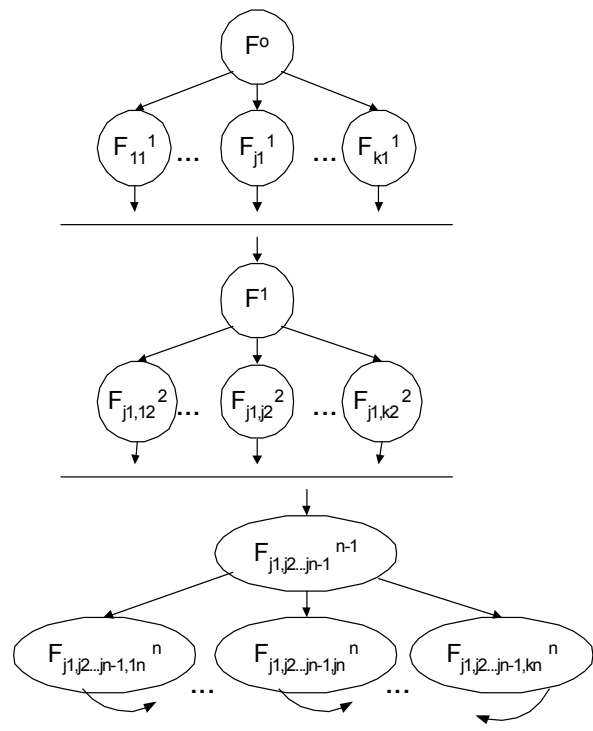


Рис. 1. Иерархическая структура функций

В трехуровневом графе функций вершина F^0 отождествляется с назначением объекта. Вершины первого уровня $F_{11}^1, \dots, F_{k1}^1$ выражают пространственную структуру функций взаимодействующих составных частей объекта. Вершины второго уровня $F_{11,j2}^2, \dots, F_{k1,k2}^2$ определяют динамическую структуру функций, раскрывающую содержание процесса взаимодействия функциональных составных частей объекта во времени.

Системные модели управления и ресурсного обеспечения процессов развития предприятия

После структурного представления необходимо сформировать параметрические модели процессов развития предприятия.

Предприятие имеет некоторое множество свойств, которые являются системными и определяют возможность достижения целей, поставленных перед предприятием. Для того чтобы осуществить развитие относительно цели, предприятие расходует различное количество определенного ресурса из имеющегося множества ресурсов G . Чем меньше ресурсов затрачивает предприятие на реализацию цели, тем более эффективным оно является.

Определим количество ресурсов, которым располагает предприятие в течение планового периода T :

$$G(T) = G_f(T) + G_d(T), \quad (3)$$

где $G_f(T)$ – ресурсы функционирования, $G_d(T)$ – ресурсы развития.

Ресурсов должно быть достаточно для парирования случайных воздействий, их количество может быть оценено от «пессимистического» уровня $M^P(T)$, среднего уровня оптимизма $M^m(T)$ и до «оптимистического» уровня $M^O(T)$ таких, что

$$M^P(T) = \sup \{M\}, M^O(T) = \inf \{M\}. \quad (4)$$

Для парирования возмущений $M^P(T)$ необходимы ресурсы $G_d^P(T)$, для парирования возмущений $M^m(T) - G_d^m(T)$, а для парирования $M^O(T)$ целесообразно использовать $G_d^O(T)$.

Таким образом, следует заключить, что ресурсы развития позволяют достичь цели в условиях пессимистического прогноза и определять устойчивое развитие в случае, если $G_d(T) \geq G_d^P(T)$, в том случае, если $G_d^m(T) \leq G_d(T) < G_d^P(T)$ следует считать развитие относительно устойчивым. Если $G_d^O(T) \leq G_d(T) < G_d^m(T)$ развитие условно возможно, а если развитие невозможно, имеем вид $G_d(T) \leq G_d^O(T)$.

Коэффициент стабильного развития на плановом промежутке будет иметь вид:

$$K_{cp} = \frac{G_d(T) - G_d^O(T)}{G_d^P(T) - G_d^O(T)} \quad (5)$$

В ходе развития осуществляется изменение функциональных элементов предприятия, их структуры, а также свойств элементов.

Модель координирования управляющих воздействий для развития предприятия определим на основе формального представления динамических систем, которое имеет вид [10]:

$$x = f(\alpha, \beta, t, \varphi), \quad (6)$$

где α – n- мерный фазовый вектор состояния, β – k- мерный вектор координирования, t – время, φ – m- мерный вектор возмущений.

Для формализации задачи принятия решений о развитии предприятия определим $\beta = \beta(t, \alpha, \varphi)$ - вектор-функцию субъекта, принимающего решение. Если на предприятии взаимодействуют более чем один субъект с индивидуальными, отличными от других субъектов целями и соответствующими функциями $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, тогда модель координации описывается формальной моделью

$$x = f(\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k, t). \quad (7)$$

Ход развития предприятия считается эффективным в том случае, если количественные и качественные характеристики интегрированного свойства предприятия улучшаются.

Предлагается рассматривать предприятие как систему, функционирование которой обеспечивается процессами производства и развития, согласованных с внешней средой (рис. 2).

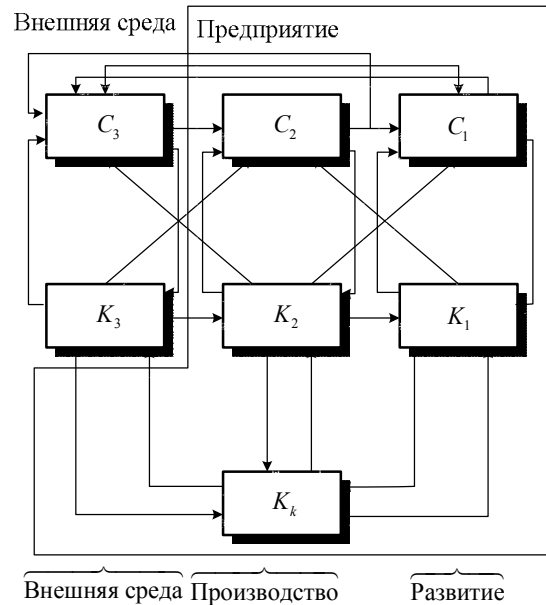


Рис. 2. Структура системной модели развивающегося предприятия

На рис. 2 обозначены: C_1 - процесс «развитие» C_2 - производственный процесс, C_3 - процессы влияния внешней среды, K_1 - подсистема планирования, K_2 - производственная подсистема, K_3 - подсистема маркетинга, K_z - система управления указанными подсистемами (с функцией координации).

Процессы деятельности предприятия сведены к трансформированию ресурсов в конечные продукты. На основе предложенных моделей можно анализировать задачи планирования развития предприятия. Данные модели универсальны и определяют параметры процесса модернизации как для подсистем предприятия, так и для предприятия в целом.

Принципы системной методологии проактивного управления и ее структура

Методология проактивного управления развитием промышленного предприятия – совокупность принципов, специфических моделей и методов принятия решений для достижения целей, позволяющих производственному предприятию оптимально использовать существующий потенциал.

В результате проведенного анализа, с учетом требований системного подхода предлагается оцен-

ку реализуемости планов развития производить на этапе предварительного технико-экономического обоснования. Оценка реализуемости требований планов развития при ресурсных ограничениях предполагает анализ возможностей предприятия выполнить работы проекта по производству новой техники. При этом в виде основных ограничений выступают технико-технологические и кадровые ресурсы предприятий, а также временные ограничения проекта.

В результате анализа объекта исследования, с учетом определения понятия реализуемости и его показателей, сформулированы следующие *методологические принципы*:

- системный подход в представлении объекта развития (предприятия) для анализа его качества;
- функциональный подход при анализе качества предприятия и синтезе показателей реализуемости;
- квалиметрический подход для расчета как локальных, так и интегральных оценок качества;
- формализация и структуризация частных показателей реализуемости;
- комплексность при оценке реализуемости программы;
- целеориентированность и оптимизация в принятии решений по развитию предприятия.

Предлагаемые принципы определяют основные подходы в методологии (системный, функциональный и квалиметрический) и являются основой для разработки методов оценки реализуемости.

Наиболее общей моделью социально-экономических систем является модель Захмана (рис. 3), строки и столбцы которой служат проекциями: строки — с точки зрения групп заинтересованных лиц, столбцы — с точки зрения областей рассмотрения (что, кто, как, когда, где и зачем). Каждая из проекций рассмотрения предприятия характеризует соответствующий функциональный аспект качества. Недостаток качества по указанным аспектам определяет возможную нереализуемость функций. Показатель реализуемости оценивается на основе соответствующих характеристик проекций предприятия.

Приведенные выше соображения составляют основу предлагаемой методологии проактивного управления развитием промышленного предприятия. Предлагается структура системной методологии (рис. 4). Так, указанные выше проекции областей рассмотрения планов развития определяют основные задачи оценивания реализуемости. Эти задачи предполагают оценку качества соответствующих четырех подсистем предприятия (при этом предполагается разработка соответствующих квалиметрических моделей).

Точка зрения / Область	Данные Что?	Функции Как?	Люди Кто?	Время Когда?	Сеть Где?	Мотивация Почему?	Деньги Сколько стоит?	Оценка Насколько эффективно?
Клиент	Предлагаемые услуги и товары	Условия поставки, условия поддержки	Контактные лица	Сроки поставки, время обслуживания	Доставка	Преимущества предприятия	Цены, скидки	Удовлетворенность
Владелец, инвестор, менеджер высшего звена	Направления деятельности	Список основных бизнес-процессов	Клиенты, партнеры, конкуренты, организационная структура предприятия		Рынки сбыта	Стратегия развития предприятия, бизнес-цели	Капитализация компании, отчет о прибылях и убытках	Оценка эффективности предприятия (BSC)
Руководитель функционального подразделения	Выходы бизнес-процессов подразделения (результаты)	Модель бизнес-процессов	Организационная структура подразделения	Бизнес-план подразделения	Логистика	Стратегия развития подразделения	Бюджет подразделения	Оценка эффективности подразделения (BSC)
Сотрудник функционального подразделения	Должностные инструкции в части результатов деятельности сотрудника	Модель бизнес-процессов, в которых участвует сотрудник	Должностные инструкции в части взаимодействия	Индивидуальный план	Рабочее место, командировки	Личная стратегия развития	Зарплата, премии, система материального стимулирования	Оценка личного вклада в развитие предприятия (KPI)
Бизнес-аналитик, архитектор	Логическая модель данных	Прикладная архитектура приложений (UML)	Организационная структура ИТ	План развития ИТ	Модель распределенной архитектуры	Стратегия ИТ	Бюджет ИТ	Модель эффективности ИТ
Разработчик	Физическая модель данных	Системный проект, программный код	Пользователи (роли)	Диаграмма последовательностей (UML)	Технологическая архитектура, диаграмма классов (UML)	Техническое задание	Затраченное время	Модель эффективности разработки
Системный администратор, специалист по поддержке	Должностные инструкции	SLA, инструкции администратора	Список пользователей с сервисами, правами и полномочиями	План на регламентное обслуживание	Архитектура сети, управление конфигурацией (ITIL)	Стратегия развития ИТ в части обслуживания пользователей	Стоимость	Модель эффективности обслуживания
Пользователь ИТ	Должностные инструкции в части ИТ, список сервисов ИТ	Инструкции пользователей	Полномочия	SLA - с точки зрения времени предоставления сервисов	Правила использования ПК, работа в ЛВС и Internet	Должностные инструкции	Стоимость сервисов ИТ для отдельного пользователя	Эффективность использования ИТ для отдельного пользователя

Рис. 3. 2D-модель предприятия

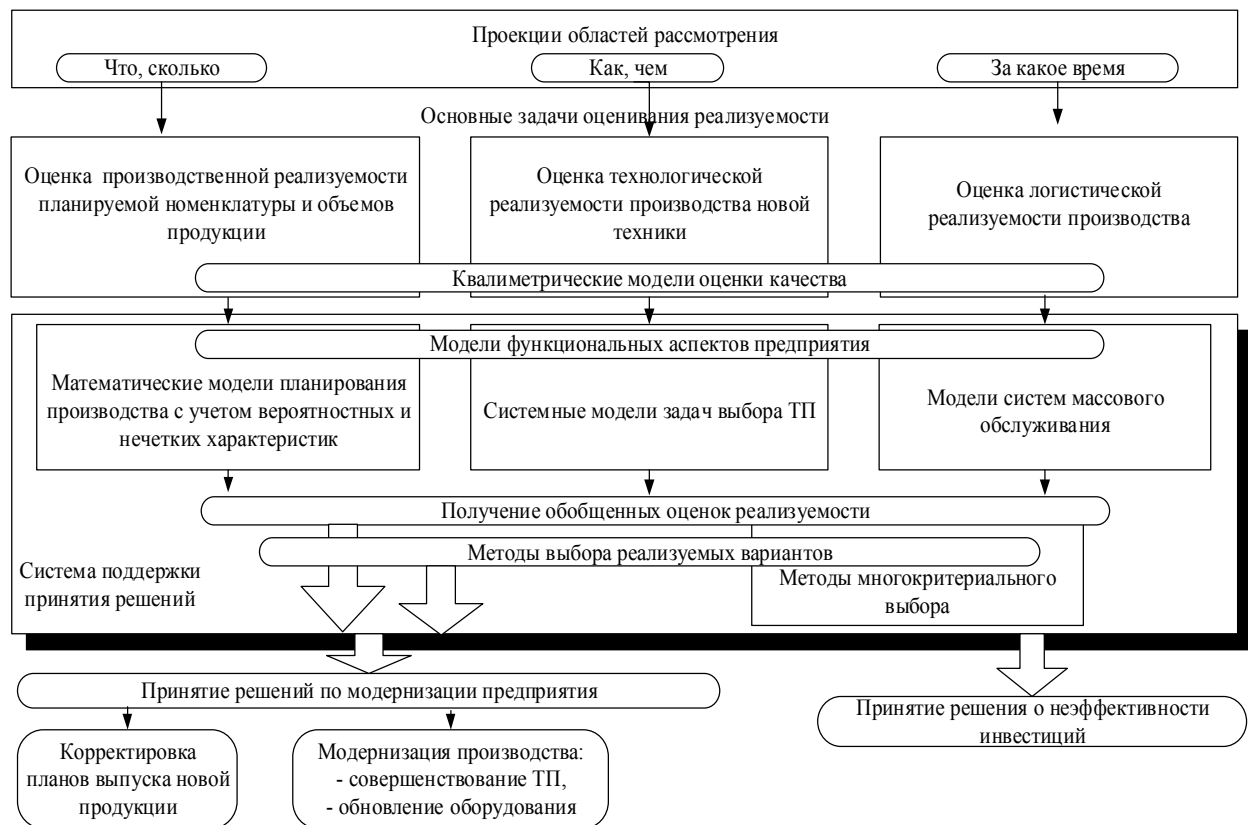


Рис. 4. Общая схема системной методологии проактивного управления

Для оценки реализуемости планов развития по отдельным функциональным подсистемам предприятия необходима разработка соответствующих структурных и параметрических моделей. На их основе с помощью методов оптимизации, многокритериального выбора, аналитических методов и методов моделирования осуществляется прогноз, вычисление и анализ характеристик производства новой техники.

Расчет оценок реализуемости требований планов развития осуществляется в системе поддержки принятия решений, при этом для сравнения планируемых и требуемых характеристик используются данные, предоставляемые инвестором и разработчиком.

Частные модели и методы оценивания реализованы программными модулями системы поддержки принятия решений, и позволяют оценить значения основных показателей реализуемости ППНТ (производственной, технологической, логистической).

На основе полученных оценок возможности выполнения планов развития (объемных, временных, стоимостных), принимается решение о модернизации отдельных подсистем предприятия.

В случае, когда требуется масштабная модернизация со значительными инвестициями, может быть принято решение о принципиальной нереализуемости планов развития.

Выводы

В статье обоснована необходимость системного анализа при оценке реализуемости планов развития предприятия. Рассмотрены особенности структурного и функционального подхода, сделан вывод об эффективности комплексного структурно-функционального подхода.

Предложено формально-логическое описание и иерархическое представление функций объекта – предприятия.

Разработаны элементы системной модели объекта исследования – производственного предприятия как социо-технической системы. Предложены системные модели управления и ресурсного обеспечения целеориентированного предприятия.

Сформулированные принципы методологии проактивного управления, которые определили основные подходы - системный, функциональный и квалиметрический и явились основой для разработки методов оценки реализуемости планов развития.

Проанализированы основные задачи анализа реализуемости, определена последовательность их решения, что обусловило общую схему методологии.

Таким образом, разработана методология системной оценки реализуемости планов инновационного развития, которая основана на структурно-функциональном подходе, позволяет учитывать

реальные возможности функционирования предприятий, что повышает достоверность решений в инвестиционном планировании.

Методология состоит из совокупности моделей, методов и средств получения оценок реализуемости по различным аспектам деятельности предприятия.

Функциональный подход позволяет анализировать конкретные функциональные свойства объекта исследования, обеспечивающие выполнение требований проекта производства.

Список литературы

1. Midler C. *Project and Innovation Management: Bridging Contemporary Trends in Theory and Practice* / C. Midler, K. Killen, A.Kock // *Project Management Journal*. – 2016. – V. 47. – I. 2. – Pp. 3–7.
2. Bucherer E. *Towards Systematic Business Model Innovation: Lessons from Product Innovation Management* / E. Bucherer, U. Eisert, O. Gassmann // *Creativity and Innovation Management* – V. 21. – I. 2. – 2013. – Pp. 183–198.
3. Балахонова О.В. Теоретико-методологические подходы в раскрытии содержания региональной инновационной системы / О.В. Балахонова // *Механізм регулювання економіки* – 2011. – № 2. – С. 76–81.
4. Карлик А.Е. Управление интеллектуальными ресурсами инновационно-активных предприятий / А.Е. Карлик, В.В.Платонов, Н.Н. Тихомиров, В.П.Воробьев, А.С. Ковалева. – СПб.: Изд-во: СПбГЭУ, 2013. – 167 с.
5. Хрусталева Е.Ю. Финансовая устойчивость наукоемкого предприятия как фактор оценки реализуемости инновационного проекта / Е.Ю. Хрусталева, О.Е. Хрусталева // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2013. – № 33 (222). – С. 16–23.
6. Кушнир А.М. Управление рисками инновационных проектов: системный подход / А.М. Кушнир // *Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте (МИЭМП)*. Серия 1. Экономика и управление. – 2012. – № 1. – С. 65 – 71.
7. Костина Т.А. Инструментарий оценки рисковости инновационных проектов создания наукоемкой продукции / Костина Т.А., Соколов Н.А. // *Модели и методы инновационной экономики. Сборник научных трудов под ред. К.А. Багриновского и Е.Ю. Хрусталева*. Вып. 7. – М.: ЦЭМИ РАН, МАОН, 2015. – С. 47-53.
8. Волков В.А. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости проектов по созданию ракетно-космической техники / В.А. Волков, А.И. Орлов // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2014. – № 11 (362). – С.41-47.
9. Бухун Ю.В. Економічна значимість впровадження на підприємствах космічної галузі інвестиційного проект-менеджменту / Ю.В. Бухун // *Глобальні та національні проблеми економіки*. – 2015. – Вип. 5. – С. 319 – 324.
10. Петров Э.Г. Управление устойчивым развитием предприятий / Э.Г. Петров, Н.В. Подмогильный, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков. — Херсон: Олди-Плюс, 2009. — 558 с.

Надійшла до редколегії 3.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Федорович, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

ПРИНЦИПИ І СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕАЛІЗОВАНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ПЛАНІВ ПІДПРИЄМСТВА

Д.Е. Лисенко

У статті розглядаються основні принципи методології проактивного управління розвитком промислового підприємства з урахуванням оцінок реалізованості планів. Об'єкт дослідження представляється у вигляді узагальнених системних моделей з використанням теоретико-множинного уявлення і структурно-функціонального підходу. Розробляється формалізоване уявлення ієрархічної функціональної структури елементів підприємства і відповідна структура показників реалізованості вимог по їх розвитку. Формується детальний опис елементів узагальненої ієрархічної структури підприємства. Проводиться формалізація ресурсного забезпечення для розвитку підприємства як цілеорієнтованої системи. Сформована структура методології проактивного управління, яка заснована на функціональному підході і категоріях кваліметрії і відображає процес отримання локальних і інтегральних оцінок з урахуванням реальних можливостей підприємства.

Ключові слова: інноваційний розвиток, системний підхід, декомпозиція, оцінка реалізованості.

PRINCIPLES AND STRUCTURE OF THE METHODOLOGY OF REALIZABILITY ESTIMATION OF ENTERPRISE INNOVATIVE PLANS

D.E. Lysenko

The article discusses the basic principles of the methodology of proactive management of the development of industrial enterprises, taking into account feasibility assessment plans. The object of study is presented in the form of a generalized system models using set-theoretic representation and structural-functional approach. Developed formalized hierarchical representation of the functional structure of the company and the appropriate elements of the structure of performance requirements for feasibility of their development. Formed a detailed description of the elements of the generalized hierarchical structure of the enterprise. Produced formalization of resource support for the development of the enterprise as purposeful system. Formed methodology of proactive governance structure, which is based on the functional approach and the categories of quality control and reflects the process of obtaining local and integrated assessments, taking into account the real possibilities of the enterprise.

Keywords: innovative development, system approach, decomposition, realizability estimation.

УДК 658.012.32:658.012.23

Н.Ю. Ровінська, Ю.С. Виходець

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ЗМІСТОМ ПРОЕКТУ

У роботі розглянуті проблеми та перспективи розвитку промислових підприємств України, так як дана галузь безпосередньо впливає на економічний рівень держави. Для підвищення ефективності галузі необхідно застосовувати сучасні і результативні підходи і методи, одними з яких є проектний підхід. Тому, ґрунтуючись на групи процесів управління проектом, запропоновані РМІ в стандарті РМВoК, розроблено метод прийняття рішень в управлінні змістом проекту, який дозволяє враховувати специфіку галузі, шляхом впровадження поняття бізнес-модель, а також визначати тип проекту і застосовувати відповідні управлінські рішення.

Ключові слова: промислові підприємства, управління проектами, управління змістом проекту, проекти організаційних змін, бізнес-модель.

Вступ

Постановка проблеми. Розвиток промислових підприємств є пріоритетним завданням для України, так як саме цей сектор діяльності дозволяє досягати високих економічних показників, підвищує конкурентоспроможність держави, забезпечує усі галузі народного господарства технічними засобами і новими матеріалами. Темп зростання, рівень розвитку і структура виробництва - важливі показники кількісної та якісної характеристик життєвого рівня населення. Однак на поточний час у даній галузі спостерігається спад виробництва, який зумовлений низкою факторів: неефективними економічними реформами, високим рівнем інфляції, розпадом господарських зв'язків з країнами ближнього зарубіжжя і т.д. Тому реформування промислових підприємств України на основі випереджаючого розвитку наукоємних галузей, виробництва товарів народного споживання і галузей, які забезпечують науково-технічний прогрес у всіх ланках народного господарства, є актуальним і пріоритетним завданням для держави.

Дане дослідження виконано з урахуванням основних положень Концепції державного проекту розвитку промисловості України на період до 2017 року. В якості основних шляхів розвитку промисловості через подолання застарілого організаційного устрою вказується вертикальна та горизонтальна інтеграція підприємств, розробка і впровадження моделі кластерної організації промисловості, впровадження ресурсозберігаючих і природозберігаючих технологій.

Всі зазначені шляхи реалізуються через проекти та програми, тому потребують методології створення проактивного середовища, ефективних методів початкового відбору проектів, розробки життєздатної бізнес-моделі створюваного або модернізованого об'єкта і методології управління проектами.

На сьогоднішній день проектний підхід зарекомендував себе, як ефективний і результативний метод

реалізації проектів. Методи управління проектами дозволяють уникнути поширених помилок, а саме: недотримання термінів виконання робіт, перевищення планового фінансування, нестачі ресурсів, невідповідності якості продукту проекту і т.д. Для промислових підприємств управління проектами можна розглядати, як спосіб підвищення ефективності їх функціонування, раціонального використання обмежених ресурсів (як матеріальних, так і людських) й оптимізації показників фінансово-господарської діяльності.

Вплив зовнішнього середовища, яке властиве сучасній економіці, призводить підприємства до низки проблем, а саме: неповне завантаження виробничих потужностей; обмеженість ресурсів; слабка організаційна структура; низька якість продукції, що випускається.

Перераховані та інші чинники негативно відбиваються на рівні розвитку, ефективності та керованості виробничих підприємств. Тому на поточний момент актуальною науково-прикладною задачею є адаптація і впровадження методів управління проектами на діючих промислових підприємствах через проекти організаційних змін.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. До всесвітньо визнаних методологій управління проектами відносять: РМВoК [1], P2M [2], TenStep [3], PRINCE2 [4], SCRUM [5], ICB – IPMA Competence Baseline [6]. Теоретичні та методичні основи управління проектами відображені в роботах вітчизняних та зарубіжних дослідників, а саме: С.Д. Бушуєва, В.Н. Буркова, І.В. Кононенко, К.В. Кошкіна, Ю.М. Теслі, В.А. Рача, Р. Арчібальда, С. Беркуна, Р. Келінга, Ф. Бег'юлі, К. Грея, Е. Ларсона і т.д. Теоретичним базисом для вивчення питання управління організаційними змінами служать праці К. Левіна, Л. Грейнера, Р. Баллока, Д. Баттена, Д. Надлера, М. Тушмана, та ін. [7-10]. З систематичної точки зору дослідники можуть бути розділені на дві групи: перші вивчають організаційні зміни, як процес «трансформа-

ції», «реформування», «реінжинірингу» і т.д. Друга група консолідує методологічні проблеми управління змінами та подолання опору персоналу організації.

Порівняння групи процесів управління проектами та процесів в області знань для проектів організаційних змін, свідчить про те що, управління змістом, строками, вартістю проекту потребують методологічного забезпечення, чим і обумовлена актуальність даної роботи.

Основна складність управління змістом проекту полягає у тому, що в проект мають бути включені ті і тільки ті роботи, які необхідні для його успішного виконання [1]. Окрім того, одна й та сама робота може бути виконана різноманітними операціями. Тому необхідне розв'язання задачі вибору тих чи інших проектних робіт, а також варіантів їх реалізації. Тому метою даної роботи є розробка методу прийняття рішень в управлінні змістом проекту.

Основна частина

Перш ніж перейти до розробки методу прийняття рішень в управлінні змістом проекту, розглянемо відмінні риси промислових підприємств і проблеми, з якими вони зіштовхуються. У роботі [11] обґрунтовано, що розвиток виробничих підприємств пов'язаний з проблемами методологічного характеру, які обумовлені такими протиріччями:

1) висока якість виробництва досягається відпрацюванням технологій, проте в умовах інноваційного розвитку життєвий цикл продукції незмінно скорочується, що в свою чергу ускладнює вирішення проблеми забезпечення якості виробництва на відносно малих обсягах продукції;

2) в умовах розвитку науково-технічного прогресу все більшу цінність набуває людський ресурс. Однак в умовах конкуренції зростає ймовірність переходу кваліфікованих співробітників до конкурентів, що спричинить за собою втрату людського капіталу;

3) сучасні умови функціонування підприємства вимагають скорочення тривалості життєвого циклу продукції, внаслідок чого змінюються підходи до формування політики та стратегії розвитку основних фондів. З іншого боку, високо конкурентний ринок вимагає інвестування в реалізацію стратегії розвитку основних виробничих фондів;

4) задача ефективного розвитку виробничого підприємства багато в чому пов'язана з умінням підтримувати і нарощувати виробничий потенціал. Однак в умовах постіндустріальної економіки підприємства все зіштовхуються з необхідністю проведення організаційних змін (наприклад, виробничої політики, підходів до маркетингу, інфраструктурного забезпечення, автоматизації процесів і т.д.);

5) глобалізація ринку сформувала перед підприємствами задачу формування нових інвестиційних механізмів сталого розвитку.

До основних проблем розвитку вітчизняних промислових підприємств, на розв'язання яких спрямована розробка систем управління, віднесемо [12]:

- відсутність системи єдиного інформаційного забезпечення;
- ускладнення архітектури управління, інформаційного поля, матеріальних, фінансових потоків;
- посилення нестабільності зовнішнього і внутрішнього середовища;
- необхідність підвищення ефективності функціонування підприємства;
- створення системи забезпечення економічної стійкості і виявлення кризових ситуацій;
- у зв'язку з ускладненням процесів управління підприємством потрібна побудова спеціальної системи інформаційного забезпечення та розробка механізму координації;
- потреба в системах управління, що забезпечують гнучкість і надійність функціонування організації;
- обмеженість можливостей окремих інструментів менеджменту, які використовуються в процесі прийняття і реалізації рішень в динамічно мінливих ринкових умовах;
- складність застосування сучасних управлінських технологій, адекватних новим умовам функціонування.

Розглянемо причини, за якими підприємства вдаються до проектного підходу управління [13]:

- необхідність в орієнтації на клієнта, задоволення конкретних потреб клієнтів за допомогою все нових товарів і послуг;
- скорочення життєвого циклу продукту - швидкість стає конкурентною перевагою;
- необхідність скорочення структур організаційного управління, оптимізації координації дій компанії і витрат управління;
- зростання обсягу знань та інформації, ускладнення продуктів, товарів і послуг;
- глобальна конкуренція і вимоги якості, необхідність впровадження систем управління якістю та сертифікації.

Для досягнення мети статті проведемо формалізацію задачі управління змістом проекту. Для цього введемо такі позначення:

$I = \{1, \dots, m\}$ – множина процесів управління змістом проекту;

$S = \{1, \dots, k\}$ – множина варіантів реалізації проектних робіт;

$J = \{1, \dots, n\}$ – повний перелік проектних робіт, що складають варіанти реалізації проекту.

Нехай f_i – коефіцієнт важливості i -ої роботи;

c_{jt} – сумарні витрати на виконання j -ої роботи, що починається в момент часу t ;

u_s – змінна вибору варіантів реалізації проектних робіт;

c'_{jt}, c''_{jt} – обмеження зверху та знизу (відповідно) на об'єм фінансування j -ої роботи в момент часу t ;

l'_{jt}, l''_{jt} – обмеження зверху та знизу (відповідно) на тривалість виконання j -ої роботи;

x_{jt} – змінна вибору часу початку фінансування.

$$y_s = \begin{cases} 1, \text{ якщо реалізується } s\text{-й варіант} \\ \text{реалізації проектних робіт;} & s \in S; \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases} \quad (1)$$

$$x_{jt} = \begin{cases} 1, \text{ якщо фінансування роботи } j \\ \text{починається в момент часу } t; & j \in J. \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases} \quad (2)$$

Враховуючи наведені змінні величини задача управління змістом проекту може бути формалізована таким чином:

$$\sum_{i \in I} f_i \sum_{s \in S} y_s \rightarrow \max \quad (3)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{s \in S} y_s \leq 1, s \in S \quad (4)$$

$$y_s \leq \sum_{t \in T} x_{jt} \leq 1, s \in S, j \in J_s \quad (5)$$

Цільова функція задачі (3) висловлює величину очікуваної сумарної важливості запланованих до виконання проектних робіт за обраними варіантами їх реалізації. Обмеження (4) означає, що кожен варіант реалізації проектних робіт може бути виконано не більше ніж по одному варіанту, а нерівність (5) пов'язує вибір варіанта реалізації проектних робіт з необхідністю почати на якомусь одиничному відрізку фінансування кожної роботи з загального числа робіт, що утворюють цей варіант.

Для більшої наочності візуалізуємо запропонований метод прийняття рішень в управлінні змістом проекту організаційних змін за допомогою методології IDEF0. Відзначимо, що на рис. 1 описані тільки найосновніші стрілки входів, виходів, механізмів і управління. Загальний вигляд методу відображено на рис. 1.

Проект організаційних змін може складатися з 6 етапів: побудова моделі життєвого циклу проекту, ініціація проекту, планування проекту, виконання проекту, моніторинг та управління, завершення проекту (рис. 2).

У стандартах управління проектами життєвий цикл проекту представляється у такому вигляді: початкова \rightarrow проміжна \rightarrow фінальна фази. У даній роботі пропонується модифікована модель життєвого циклу проекту (рис. 3), яка більш детальна, в ній конкретизовані входи, виходи, інструменти і методи для кожної фази.

На етапі ініціації проекту в якості управління рекомендовано застосовувати знання про організаційні зміни, а саме: підходи та методики (І.І. Мазур; В.Д. Шапіро; А.А. Бовін); моделі (К. Левін; Р. Баллок і Д. Баттен; Д. Надлер і М. Тушман, Д. Хайят); класифікації (М.С. Антропов і А.Н. Чічікін; Б.Б. Стелюк); типології (В.М. Распопов; Р. Дафт). Застосування таких знань дозволить на ранніх етапах проекту вибрати модель, за допомогою якої буде виконуватися проект організаційних змін, а також регулювати опір персоналу, брати до уваги людський фактор, розробити систему мотивації і т.д.

Якщо життєвий цикл проекту ОЗ має декілька альтернатив, то вибір можна виконувати на підставі ефективності різноманітних варіантів, які залежать від часу реалізації проекту, витрат та прибутку:

$$E_{LC} = f(T, C, I) \quad (6)$$

де E_{LC} – ефективність життєвого циклу; T – час виконання проекту; C – витрати на реалізацію проекту; I – прибуток від виконання проекту. При цьому функція прибутку матиме вигляд $I = f(t)$, а функція витрат $C = \varphi(t)$, які визначенні на часовому відрізку життєвого циклу проекту, $t \in [0, T]$.

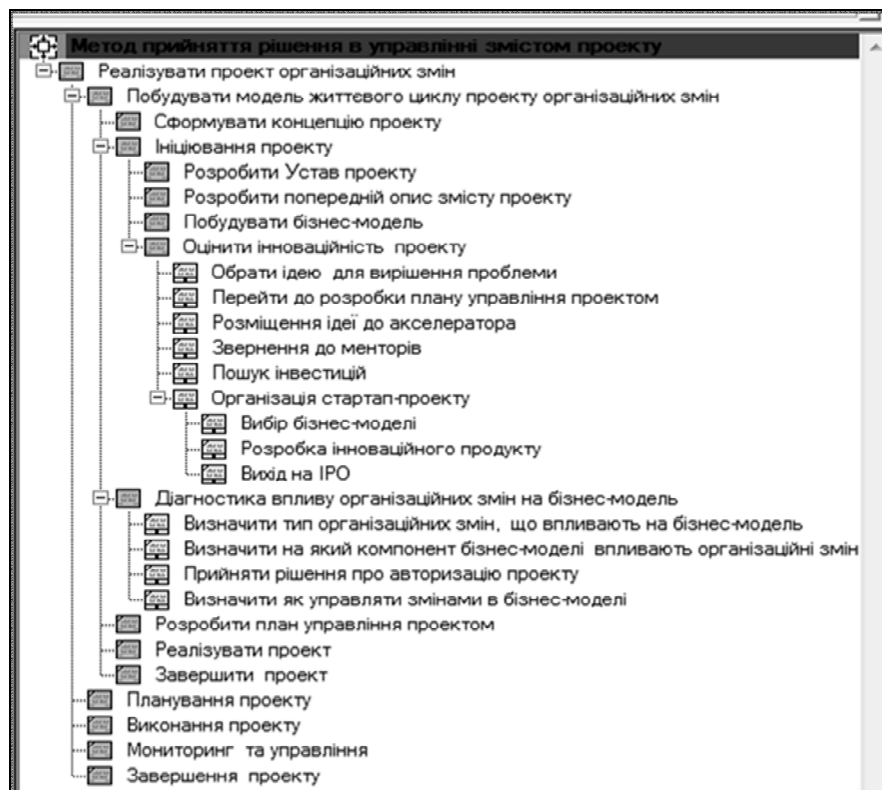


Рис. 1. Загальний вигляд розробленого методу прийняття рішень в управлінні змістом проекту

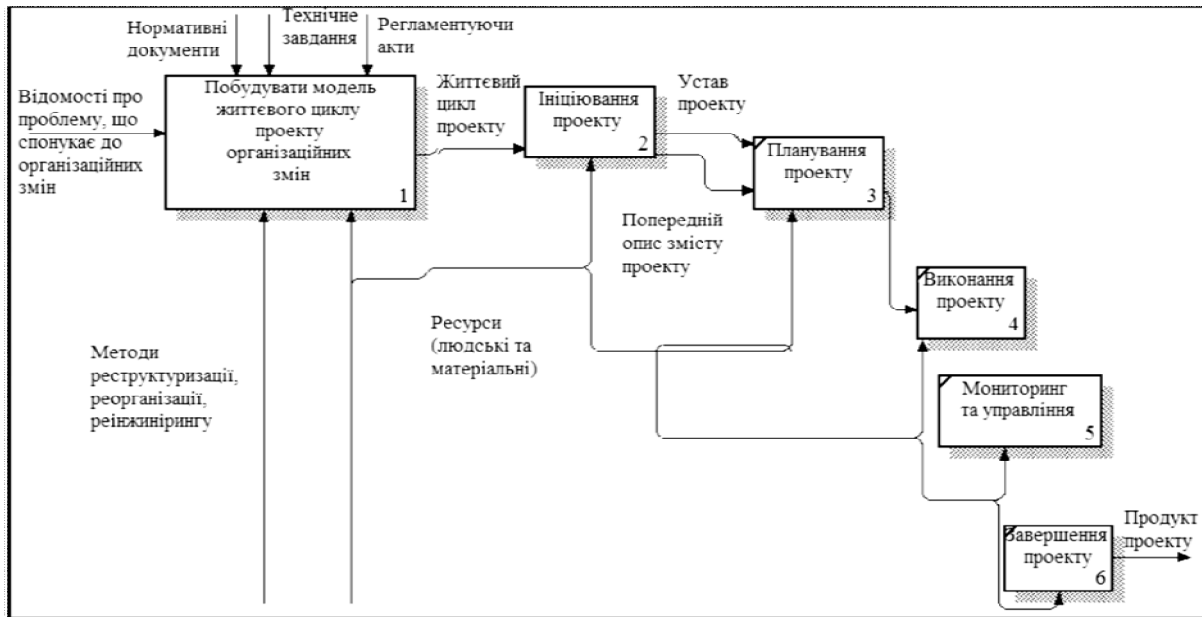


Рис. 2. Узагальнення етапів проекту

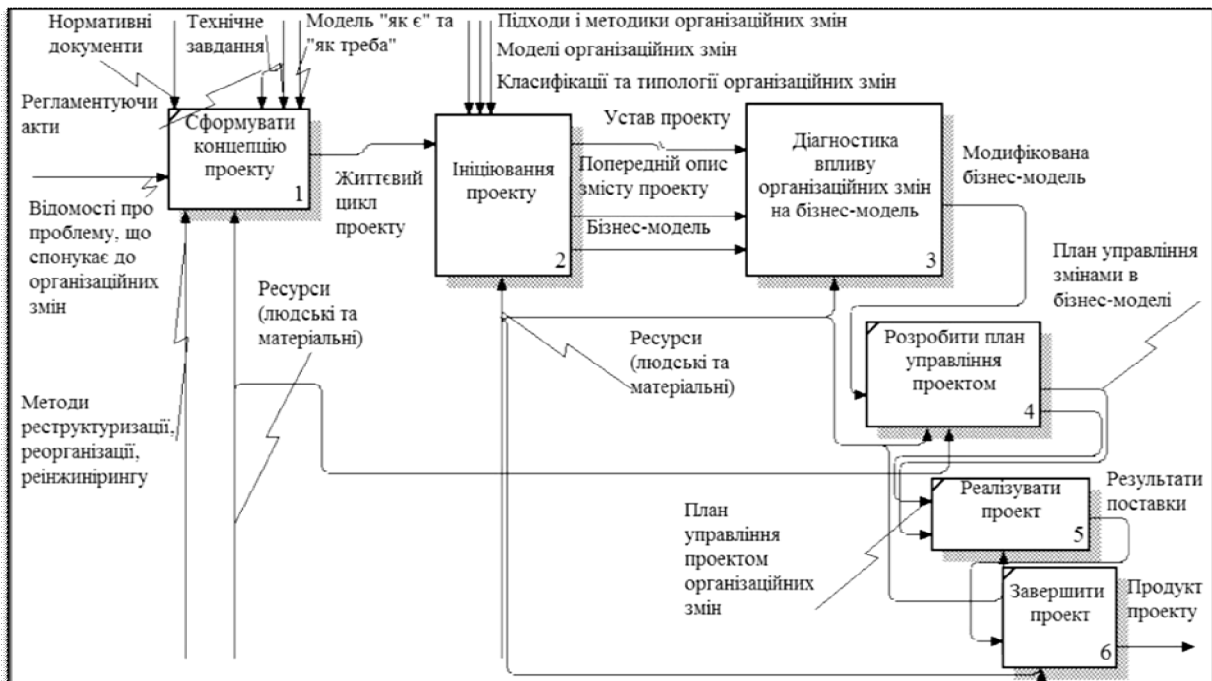


Рис. 3. Запропонована модель життєвого циклу проекту організаційних змін

Ефективність життєвого циклу проекту може бути розрахована, як різниця між прибутком та витратами за весь період життєвого циклу:

$$E_{LC} = \int_{t_i}^{t_k} f(t)dt - \left| \int_0^T \phi(t)dt \right|; t_i, t_k \in T \quad (7)$$

Етап ініціації проекту (рис. 4) пропонується доповнити елементом побудови бізнес-моделі, що дозволить враховувати галузеві особливості підприємства з одного боку, а з іншого – інтегрує поняття бізнес-модель в план управління проектом.

Ще один запропонований елемент етапу ініціації проекту - оцінка інноваційності проекту. Детальніше цей крок методу описаний в роботі [14].

Раніше авторами даної статті було обґрунтовано, що організаційні зміни можуть впливати на діючу бізнес-модель підприємства [15]. Тому після етапу ініціації необхідно застосувати метод діагностики впливу організаційних змін на бізнес-модель (рис. 5).

Таким чином, ґрунтуючись на групі процесів управління проектами, описані в стандарті PMBoK, розроблено метод прийняття рішень в управлінні змістом проекту, що становить наукову новизну даної роботи. Запропонований метод дозволяє діагностувати вплив організаційних змін на бізнес-модель компанії, визначати тип проекту і застосовувати відповідні управлінські рішення, а також інтегрує поняття бізнес-модель в процес ініціації проекту.

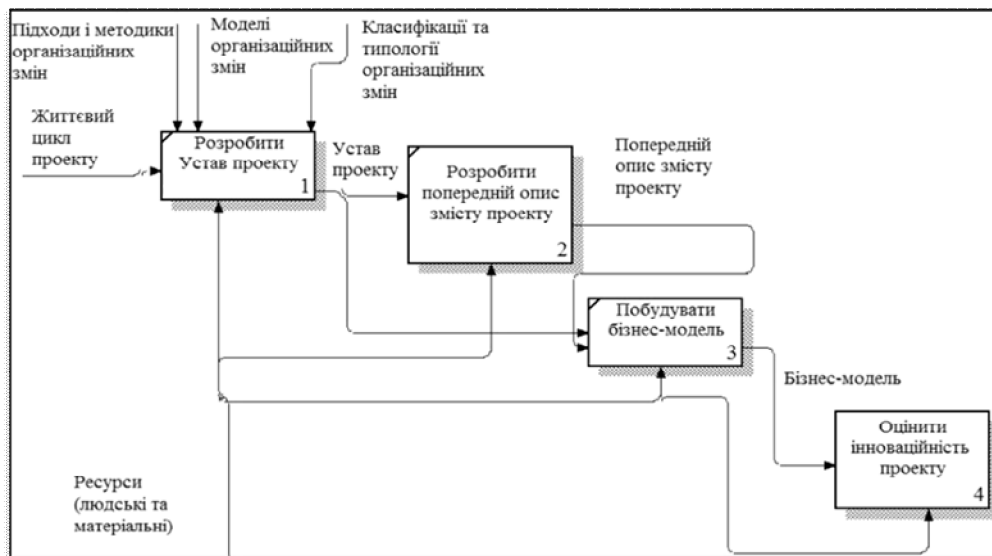


Рис. 4. Модифікована модель ініціації проекту

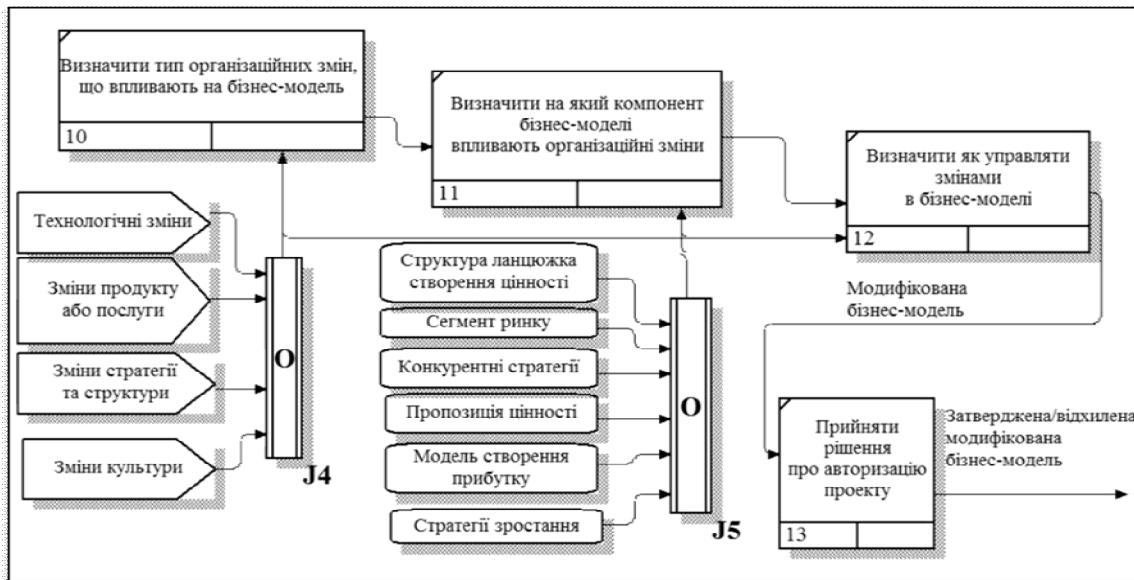


Рис. 5. Розроблений метод діагностики впливу організаційних змін на бізнес-модель

ВИСНОВКИ

Промисловість має велике значення для зміцнення економіки України. Однак в останні роки ключові галузі промисловості переживають глибоку кризу, викликану використанням застарілих технологій, низьким технічним рівнем, перебоями в постачанні, недостатньою фінансовою забезпеченістю впровадження необхідних інновацій.

У статті розглянуті основні проблеми розвитку вітчизняних виробничих підприємств. З точки зору перспективи розвитку можна виділити такі дії:

- структурна перебудова галузі зі збільшенням наукоємних виробництв;
- створення сучасного технологічного оснащення для всіх галузей промислового комплексу з метою зниження енерго-, ресурсо- і трудомісткості виробництва та підвищення конкурентоспроможності його продукції;

- орієнтація продукції на потребу внутрішніх і світових ринків;

- екологізація виробництва, що передбачає випуск ресурсозберігаючих і природоохоронних видів техніки.

Перераховані вище шляхи підвищення ефективності промислового комплексу України вимагають проектного підходу і розробки методологічного забезпечення для реалізації проектів розвитку. Існуючі на даний момент підходи і методи, не покривають повністю потреби в інструментарії, оскільки не враховують такі важливі аспекти, як життєздатність підприємства та його бізнес-модель.

Тому в даній роботі запропоновано метод прийняття рішень в управлінні змістом проекту, в основі якого закладені групи процесів управління проектом, що описані в стандарті РМВоК. Метод дозволяє враховувати галузеві особливості, шляхом впровадження поняття бізнес-модель, а також дає струк-

турне уявлення проекту організаційних змін від моменту побудови життєвого циклу проекту до моменту його завершення. Прийняте проектне рішення на одній фазі може бути піддано перегляду в результаті отримання додаткової інформації на наступних фазах. Таким чином, щоб знизити ризики необхідності перепроєктування корпоративної архітектури та фізичної інфраструктури підприємства, запропоновано ввести процедуру перевірки кожного проектного рішення на ступінь узгодженості з цільовою бізнес-моделлю і прийнятими раніше рішеннями.

Список літератури

1. Руководство к Своду Знаний по Управлению Проектами (Руководство РМВОК®). – [4-е издание]. – Project Management Institute, Inc., 2008. – 463 с.
2. A Guide book for Project and Program Management for Enterprise Innovation [Електронний ресурс] / Project Management Association of Japan, 2001. – 91 с. – Режим доступу : https://articulospm.files.wordpress.com/2013/01/p2mguidebookvolume1_060112.pdf. - 01.11.2016 р.
3. Управление проектами [Електронний ресурс] // TenStep. - Режим доступу : <http://tenstep.com.ua/open/0.0.0/TenStepHomepage.htm>. - 01.11.2016 р.
4. Turley, F. An introduction to Prince2 [Електронний ресурс] / F. Turley. -2009. – С. 51. - Режим доступу : <https://www.projectsart.co.uk/docs/prince2-introduction-ps.pdf>. - 01.11.2016 р.
5. Швабер, К. Скрам Гайд. Исчерпывающие руководство по Скраму: правила игры [Електронний ресурс] / К. Швабер, Дж. Сазерленд. – 2013. – С. 17. – Режим доступу : <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-RUS.pdf>. - 01.11.2016 р.
6. ICB IPMA Competence Baseline [Електронний ресурс]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
7. Левин, К. Теория поля в социальных науках [Текст] : пер. с англ. / К. Левин. - СПб. : Сенсор, 2000. – 368 с.
8. Greiner, L. Evolution and revolution as organizations grow [Електронний ресурс] / L. Greiner // Harvard Business Review. - 1972. – р. 37-46. Режим доступу : <http://www.bbit757.com/bond/pdf/moi/EvolutionandRevolutionasOrganizationsGrow.pdf>. - 01.11.2016 р.
9. Камерон, Э. Управление изменениями [Електронний ресурс] / Э. Камерон, М. Грин. – М. Добрая книга, 2006. – Режим доступу : <http://mypdfbook.ru/7008/upravlenie-izmeneniyami-kameron-e-grin-m.pdf>. - 31.05.2016 р.
10. Nadler, D. Organizational frame bending: principles for managing reorientation [Електронний ресурс] / D. Nadler, M. Tushman // The academy of management executive. – 1989. – vol. 3, №3. – с. 194-204. Режим доступу : <http://www1.lsbu.ac.uk/osdt/materials/OrgFrameBendManReorient.pdf>. - 31.05.2016 р.
11. Петров, В.С. Теоретико-методологические основы эффективности развития промышленных предприятий [Електронний ресурс] : монография / В.С. Петров . – М. : Проспект, 2015. – 96 с. - Режим доступу : <https://books.google.com.ua/books?id=tvmGCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>. – 01.11.2016 р.
12. Трысячный, В.И. Современные проблемы управления производственной деятельностью промышленного предприятия [Електронний ресурс] / В.И. Трысячный, В.В. Руденко // Terra Economicus, 2012. - № 3-3. – Т. 10. – С. 90-92. - Режим доступу : <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-problemy-upravleniya-proizvodstvennoy-deyatelnosti-promyshlennogo-predpriyatiya>. - 01.11.2016 р.
13. Куправа Т. А. Управление проектами. Вводный курс : учеб. пособие / Т. А. Куправа. – М. : Изд-во РУДН, 2008. – 121 с.
14. Ровинская Н.Ю. Развитие инноваций путем интеграции стартап-проектов / Н.Ю. Ровинская // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 2(27). – С. 8-14.
15. Ровинская Н.Ю. Воздействие организационных изменений на бизнес-модель компании / Н.Ю. Ровинская // Управління проектами та розвиток виробництва: 36. наук. пр. – Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля. – 2015. – №4(56). – С. 40-50

Надійшла до редколегії 17.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків.

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЕМ ПРОЕКТА

Н.Ю. Ровинская, Ю.С. Выходец

В работе рассмотрены проблемы и перспективы развития промышленных предприятий Украины, так как данная отрасль непосредственно влияет на экономический уровень государства. Для повышения эффективности отрасли необходимо применять современные и результативные подходы и методы, одним из которых является проектный подход. Поэтому, основываясь на группы процессов управления проектом, предложенные РМІ в стандарте РМВоК, разработан метод принятия решений в управлении содержанием проекта, который позволяет учитывать специфику отрасли, путем внедрения понятия бизнес-модель, а также определять тип проекта и применять соответствующие управленческие решения.

Ключевые слова: промышленные предприятия, управление проектами, управление содержанием проекта, проекты организационных изменений, бизнес-модель.

METHOD OF DECISION MAKING IN PROJECT SCOPE MANAGEMENT

N.Yu. Rovinska, Yu.S. Vykhodets

This paper considers the challenges and prospects of development for industrial enterprises of Ukraine, as this sector exerts a direct impact on the economic level of the state. To improve the efficiency of the industry it is necessary to apply up-to-date and effective approaches and methods, one of which is a project-based approach. Therefore, on the basis of the project management processes group proposed by the PMI in the PMBoK standard, a method of decision making in project scope management was developed taking into account the specifics of the industry by introducing the concept of the business model, as well as determining the type of the project and applying the relevant administrative decisions.

Keywords: industrial enterprises, project management, project scope management, business model, organizational changes.

УДК 658.512:004.7

А.П. Собчак, О.И. Попова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЭТАПА УТИЛИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ НАУКОЕМКОЙ ТЕХНИКИ

Предложен метод мониторинга морального старения наукоемких изделий с использованием онтологического инжиниринга, метод «мягкой утилизации» изделий сложной техники путем информационной поддержки этапа утилизации с применением инструментальных средств онтологического инжиниринга, который обеспечивает как пролонгацию срока эксплуатации изделия так и уменьшение статьи затрат потребителей изделия, имея значительно влияние на экологическую составляющую страны в положительную сторону.

Ключевые слова: *жизненный цикл, мягкая утилизация, сервисное обслуживание, онтологический инжиниринг, извлечение средств, интеллектуальная система извлечения данных, трансдисциплинарный подход, инструментальных средств (ИнС) онтологического инжиниринга.*

Введение

На сегодняшний день все больше ученых и практиков считают одной из самых серьезных экологических проблем Украины проблему утилизации. Традиционные методы обращения с отходами (складирование, захоронение, сжигание) неэффективны, поскольку из-за загрязнения повышают антропогенная нагрузка на окружающую среду [1 – 10]. И так, современные реалии вызывают необходимость совершенствования современной системы управления отходами, которая базировалась на принципах ресурсосбережения и экологической безопасности.

Цель статьи заключается в теоретико-методологическом обосновании минимизации отходов на основании исследования жизненного цикла продукции, материалов и развития утилизации рециклинга, определения оптимальных путей согласования экологических, экономических и социальных интересов общества относительно образования и использования отходов в аспекте устойчивого развития.

Результаты исследований

Перечислим проблемы, которые стимулируют исследование этапа утилизации: объем твердых отходов непрерывно растет как в абсолютных величинах, так и на душу населения; состав твердых отходов резко усложняется, включая в себя все большее количество экологически опасных компонентов; законы, ужесточающие правила обращения с отходами, принимаются на всех уровнях правительств; экономика управления отходами усложняется, цены утилизации отходов резко возрастают, современное управление утилизации отходов невозможно представить без частных предприятий и крупных инвестиций; разрыв, который сложился между объемами накопления отходов и их утилизацией и обезвреживанием, углубляет экологический кризис, придает ей

прогрессирующего характера и становится тормозным фактором для экономики страны.

Все эти аспекты проблемы завязаны в узел, который затягивался в развитых странах в течение последних 20-30 лет все туже и туже.

В Украине серьезное беспокойство вызывают проблемы, связанные с охраной окружающей среды и здоровьем населения. Через объемы накопленных в Украине отходов ее можно отнести к одной из самых техногенно-нагруженных стран мира. В опыте обращения с отходами Украина на несколько десятилетий отстала от развитых стран Европы. Это подтверждает тот факт, что общие объемы ежегодного накопления отходов с населением около 45800000 превышают соответствующие суммарные показатели стран Западной Европы с населением около 400 млн в 3-3,5 раза.

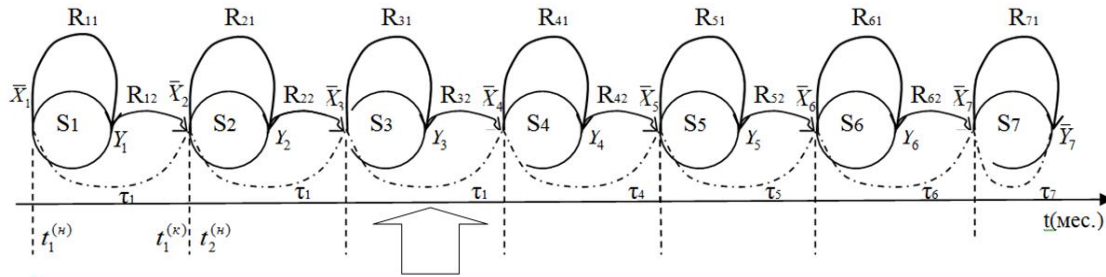
Украина уже не один год пытается внедрять собственные варианты и опыт других стран в обращении с опасными отходами. В последние годы наметились положительные тенденции в сфере государственного регулирования системы обращения с отходами, но до сих пор в Украине не создана соответствующая нормативно-правовая база, которая бы постепенно приближалась к требованиям европейского законодательства. В Украине 7% территории занимают свалки. Фактически более 90% мусора попадает на полигоны, которые уже сейчас переполнены. А перерабатывается едва 4% твердых отходов [1].

Таким образом, для комплексного исследования проблемы необходимо отображение стадий жизни изделия - от зарождения идеи до утилизации. Для этого используем понятие жизненного цикла изделия, которое состоит из целого ряда стадий, этапов и отдельных работ, выполняемых для обеспечения его существования.

Жизненный цикл (ISO 14040) - последовательные и взаимосвязанные между собой степени систе-

мы продукта - от приобретения или добычи природных ресурсов до окончательного удаления. В первую очередь отобразим жизненный цикл (ЖЦ) сложной наукоемкой техники как в графическом так

и формализованном виде (рис. 1), который состоит из 7-ми этапов: маркетинг; проектирование изделия; подготовка производства; производство; реализация; эксплуатация; утилизация.



Метод автоматизации технологической подготовки производства на виртуальном производственном предприятии путем представления технологических процессов в форме агентов на основе программно-аппаратной компиляции

Рис. 1. Жизненный цикл изделия сложной наукоемкой техники

Концептуальная модель жизненного цикла изделия имеет следующий вид:

$$A = \langle S, \bar{X}, \bar{Y}, R, T \rangle, \quad (1)$$

$$S \subseteq (S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_7), \quad \bar{X}_i = \{x_j\}, \quad \bar{Y}_i = \{y_k\},$$

$$R \supset \{R_{l_1}\} \cup \{R_{n_2}\}, \quad \{R_{l_1}\} \cap \{R_{n_2}\} = \emptyset,$$

$$T = \{\tau_1, \dots, \tau_7\}, \quad \tau_i = [t_i^H, t_i^K], \quad S_{\tau_i} : R_{\tau_i} \rightarrow \bar{X}_{\tau_i},$$

$$l, i, j, k, n = \overline{1, 7},$$

где S_1, \dots, S_7 – этапы жизненного цикла продукции; \bar{X}_i – входные данные на соответствующем этапе жизненного цикла продукции; \bar{Y}_i – выходные данные этапов жизненного цикла продукции; $t_i^{(H)}, t_i^{(K)}$ – моменты соответственно начала и окончание каждого этапа жизненного цикла продукции; R_{l_1} – преобразователь данных типа «операция – элемент»; R_{n_2} –

преобразователь данных типа «элемент – элемент»; τ_1, \dots, τ_7 – временные интервалы длительности этапа жизненного цикла продукции;

Одним из весомых этапов жизненного цикла сложной наукоемкой техники является технологическая подготовка производства, где концентрируется большинство ошибок, что приводит к рискам выпуска бракованной продукции и поэтому автоматизация данного этапа позволяет не только их минимизировать, но и увеличить экономическую эффективность, уменьшая при этом длительность цикла выпуска изделий. Выделим все входные и выходные данные на каждом этапе ЖЦ на ВПП (табл. 1). Особую важность имеют требования эксплуатации для сложной техники, например, в таких отраслях, как авиа- или приборостроение. Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС).

Таблица 1

Входные и выходные данные на каждом этапе жизненного цикла

Этапы	Вход	Выход
1	$\bar{X}_1 = \{x_1^1, \dots, x_n^1\}$ – множество потенциальных клиентов	$\bar{Y}_1 = \{y_1^{(1)}, \dots, y_n^{(1)}\}$ – множество заявок на изготовление j-го вида оборудования
2	$\bar{X}_2 = \{x_1^2, \dots, x_n^2\}$ – множество заказов на изготовление m-количества j-того вида оборудования	$\bar{Y}_2 = \{y_1^{(2)}, \dots, y_n^{(2)}\}$ – конструкторско-технологическая документация;
3	$\bar{X}_3 = \{x_1^3, \dots, x_n^3\}$ – технологические маршрутные карты	$\bar{Y}_3 = \{y_1^{(3)}, \dots, y_n^{(3)}\}$ – производственные агенты для изготовления j-того вида оборудования
4	$\bar{X}_4 = \{x_1^4, \dots, x_n^4\}$ – цифровые управляющие программы прошивки ПЛИС процессов станка с ЧПУ	$\bar{Y}_4 = \{y_1^{(4)}, \dots, y_n^{(4)}\}$ – множество изготовленных узлов и деталей
5	$\bar{X}_5 = \{x_1^5, \dots, x_n^5\}$ – Конструкторско-технологическая документация сборки изделия	$\bar{Y}_5 = \{y_1^{(5)}, \dots, y_n^{(5)}\}$ – множество изготовленного оборудования j-того вида
6	$\bar{X}_6 = \{x_1^6, \dots, x_n^6\}$ – установка оборудования	$\bar{Y}_6 = \{y_1^{(6)}, \dots, y_n^{(6)}\}$ – сервисное обслуживание
7	$\bar{X}_7 = \{x_1^7, \dots, x_n^7\}$ – множество заказов на утилизацию	$\bar{Y}_7 = \{y_1^{(7)}, \dots, y_n^{(7)}\} - \emptyset$

Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС. На рис. 2 [2] указаны основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий.

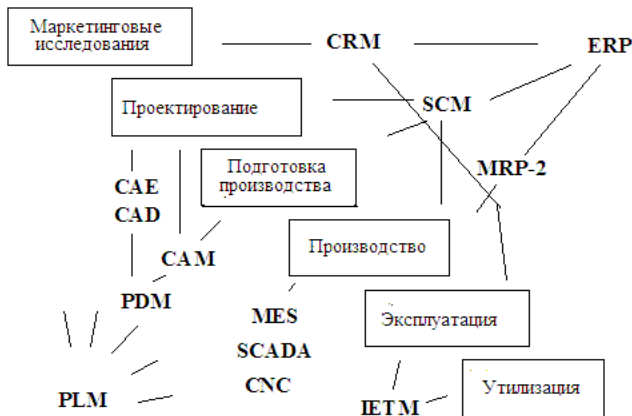


Рис. 2. Этапы жизненного цикла промышленной продукции и используемые автоматизированные системы

В общей структуре управления выделяют несколько иерархических уровней. Автоматизация управления на различных уровнях реализуется с помощью автоматизированных систем управления (АСУ).

Функции обучения обслуживающего персонала выполняют интерактивные электронные технические руководства IETM (Interactive Electronic Technical Manuals). С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем. Управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий возлагается на систему PLM (Product Lifecycle Management). Под PLM понимают процесс управления информацией об изделии на протяжении всего его жизненного цикла. Отметим, что понятие PLM-система трактуется двояко: либо как интегрированная совокупность автоматизированных систем CAE/CAD/CAM/PDM и ERP/CRM/SCM, либо как совокупность только средств информационной поддержки изделия и интегрирования автоматизированных систем предприятия, что практически совпадает с определением понятия CALS. Характерная особенность PLM — возможность поддержки взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют SAP, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий целесообразно утилизацию рассматривать как отдельную стадию жизненного цикла. Работы по утилизации или уничтожению продукции, связаны с

вопросами охраны окружающей среды, безопасности, экономики и т.п. Особенно это касается продукции способной после ее изъятия из эксплуатации негативно влиять на человека, фауну, флору и природу в целом.

Утилизация - целесообразное использование отходов или остатков производства для получения полезной продукции.

Утилизация продукции после окончания срока эксплуатации. Развитие индустрии переработки отходов, системы раздельного сбора и заготовки использованных остатков продуктов конечного потребления, в частности, упаковочных материалов и тары и др. подходы к минимизации отходов позволяют перенести акцент с анализа на выходе к комплексному использованию природных ресурсов. Такая концепция поддерживается стратегиями практического применения, в частности это касается таких аспектов как более чистое производство, применение информационной поддержки с целью поддержания принципа безотходности производства, применение лучшей из доступных технологий. Предотвращение образования отходов при применении более чистых технологий заключается в разработке таких производственных процессов и продукции, которые сопровождаются малым количеством или полным отсутствием отходов. При использовании и производстве сложной наукоемкой продукции полное отсутствие отходов невозможно, поэтому предложена информационная поддержка этапа утилизации для минимизации отходов, пролонгации срока эксплуатации продукции, а также минимизации расходов предприятия.

Ежегодно на пригородных свалках оказываются десятки тонн устаревшей или непригодной для пользования электронной техники. Это оборудование имеет в своем составе материалы на основе фенолформальдегида и поливинилхлорида, и почти все металлы с периодической таблицы Менделеева.

Оказавшись на свалке под воздействием влаги, металлы, содержащиеся в электронных компонентах (мышьяк, кадмий, цинк, свинец), переходят в растворимые соединения, которые становятся сильнодействующими ядами. Эти соединения являются потенциальными канцерогенами для человека, проявляют высокую устойчивость и способность к биоаккумуляции. Пластиковые части, имеют разнообразный химический состав (полистирол, поливинилхлорид, полифенил, полипропилен, т.д.), включая хлорные соединения, не поддаются гниению или саморазрушению. Десятки лет они способны выделять биологически активные низкомолекулярные химические вещества (пластификаторы, растворители, красители, стабилизаторы, мономеры).

Токсичные материалы, которые входят в состав электронного оборудования и образуются в результате его захоронения на свалках, годами остаются в

водоемах, грунтовых водах, почве и воздухе, попадают к источникам питьевой воды, поля и огороды.

Такое оборудование не должно оказываться на полигонах и свалках, оно должно демонтироваться, а полученное сырье максимально использоваться для вторичной переработки (80-90%) и лишь незначительные безвредные остатки (5-10%) могут остаться на свалке. Эти процессы уже давно отработаны и отлажены в развитых

Статьей 1 Закона Украины «Об отходах» определено, что отходы - это любые вещества, материалы и предметы, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), полностью или частично потеряли свои потребительские свойства и не имеют дальнейшего использования по месту их образования или выявления и от которых их собственник избавляется, намеревается или должен избавиться путем утилизации или удаления. электронное оборудование и аккумуляторы отработанные подпадают под термин отходы и классифицируются как опасные, что определено Постановлением № 1120 от 13.07.2000 г. «Об утверждении Положения о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их утилизацией / удалением и Желтого и Зеленого перечней отходов».

Критерии, определяющие срок службы техники и соответственно протекание процесса ее утилизации. Процесс протекания утилизации определяется ее началом этапа утилизации, которое в большинстве случаев совпадает с концом гарантийного периода от предприятия изготовителя или его представителей (дистрибьюторов, дилеров и т.д.) и временем необходимым для всего объема работ (определение путей и способов, разборка, сортировка, переработка и т.д.) этапа утилизации т.е. полного уничтожения изделия.

До настоящего времени бытуют ошибочные мнения о полезности сокращения сроков утилизации т.е. времени необходимого для выполнения данного этапа. Особенно это касается наукоемких высокотехнологических изделий, так как коли деталей входящих в их состав и технология их изготовления, а тем более сборки не дает обратимость процессов в кратчайшие сроки, например, когда детали сделаны путем диффузии материалов или в составе применяются вредоносные элементы (ртуть, аммиак и т.д.). Например, блок управления состоит из печатной платы, поверхностных и навесных элементов, монтаж которых, как правило производится при помощи оловянно-свинцового припоя, пластмассовых в т.ч. корпусных изделий, кабельно-проводниковых изделий.

Печатная плата, как правило, состоит из негорючего спрессованного при помощи компаундов стеклотекстолита, медных проводников (дорожек)

заложённых или обработанных антикоррозийным покрытием (припой, лак и т.д.).

Поверхностные элементы (микросхемы, транзисторы, резисторы, конденсаторы и т.д.) в свою очередь состоят из множества материалов, декомпозиция (разборка) которых невозможна в принципе. Каждая из деталей, входящих в состав изделия, имеет определенный конечный срок эксплуатации, после чего данная деталь безвозвратно теряет свои свойства для изделия, приобретая определение детали выработавшей свой ресурс.

Применяя данный метод – мягкой утилизации:

- потребитель экономит средства на утилизации, закупке новой техники, что немаловажно для производителей в период финансовой нестабильности;

- производитель наукоемкой техники получает прибыль от оборудования в период истечения гарантийного срока;

- для содержания дополнительной сервисной службы, необходимы сотрудники, другими словами обеспечение рабочими местами людей.

Время службы детали определяет срок службы узлов, которые в свою очередь определяют срок службы агрегатов, а агрегаты – срок службы изделия. Таким образом, ее физическое устаревание. Данный срок можно пролонгировать применяя **метод мягкой утилизации**, который исключает распределенную во времени определенных технической экспертизой или прогнозным моделированием выработавшие свой ресурс детали, исключая при этом одновременную утилизацию всего изделия по причине выхода из строя одного из компонентов или окончания гарантийного срока. Наряду с этим существует смежное понятие – модернизации, но оно не учитывает момент утилизации. Предложенным методом добиваемся, чтоб начало этапа утилизации наступило не по истечению срока службы самой быстро изнашиваемой детали (например, фильтра), а наоборот – пролонгировать срок службы изделия до срока службы самой долговечной детали

Введем термин **«Мягкая утилизация»** - распределенная во времени постепенная утилизация изделия путем декомпозиции изделия на выработавшие свой ресурс детали или нуждающиеся в модернизации с пролонгацией всего срока службы изделия до срока службы самой долговечной детали изделия. Замена выработавших свой ресурс узлов или деталей, модернизация изделия напрямую связана с сервисными работами предприятия поставщика (изготовителя).

В настоящее время сервисное обслуживание клиентов-потребителей рассматривается только в рамках маркетинговой концепции как необходимый и эффективный инструмент, обеспечивающий ус-

тойчивый сбыт продукции фирмы. Сервисные услуги продавца нужны как до, так и после продажи товара.

После истечения гарантийного срока наступает послегарантийный сервис. Для этого требуется специальная служба обслуживания потребителей, чтобы гарантировать полное использование товара в соответствии с его назначением.

Производители берут на себя все больше и больше сервисных задач, так как их решение привлекает потребителей, что способствует увеличению объема сбыта товаров [3]. Чем лучше и дольше работает оборудование, тем лучше развивается предприятие, расширяется выпуск продукции, появляются дополнительные средства и как результат доверие при приобретении у того же производителя дополнительной единицы оборудования с целью повышения производственной мощности.

Существуют факторы, которые влияют на заинтересованность клиента в проведении послегарантийного сервиса:

- 1) психологические, а именно передача ответственности за техническое состояние;
- 2) постоянство (одной проблемой меньше для руководителя);
- 3) экономический. амортизационные отчисления в год составляют примерно 20%, в послегарантийном сервисе около 10%, соответственно экономия видна.

Все это дает обоснование руководству, можно уверенно планировать бюджет, считать прибыль, затраты, процент вкладов в развитие мощностей предприятия.

Таким образом послегарантийный сервис имеет не только маркетинговую роль, а и влияет на экономическую и экологическую составляющую предприятия, за счет продления жизненного цикла изделия, т.е. срока эксплуатации техники. В результате после полной амортизации наукоемкой техники, проводится замена необходимых деталей или модернизация, что перекрывает не только физическое, но и моральное устаревание, утилизируя лишь 5-10% наукоемкой техники, таким образом производя мягкую утилизацию.

Наряду с физическим старением существует моральное, которое для наукоемких изделий, как показано в мировой практике, тенденциях и благодаря прогрессу оказывает большее влияние на окончание срока эксплуатации так как приобретает свойство неустойчивости. Например, стол, стул, мебель, окна, двери в офисе зачастую служат дольше чем наукоемкая техника, находящаяся в этом же помещении (персональные компьютеры, телефоны и т.д.) в силу прогресса модернизации и актуализации последних.

Данный фактор морального старения в последнее время привел к массовому возникновению про-

изводителей недолговечной, некачественной продукции, зачастую называемой «одноразовая». Рассчитывая на скорость прогресса и приобретения потребителями новых образцов, получая быструю прибыль, усугубляя при этом экологическую обстановку на планете решить проблему в данной работе предлагается применением **метода мониторинга морального старения наукоемких изделий** с использованием онтологического инжиниринга, который предполагает проведение глобального скрупулезного мультязычного анализа и составления спецификаций концептов, критериев модернизации с разбивкой по типам, классам, подклассам, видам, подвидам, подобных к находящимся в эксплуатации наукоемких высокотехнологичных изделий с дальнейшей выработкой путей улучшения их свойств, пролонгируя тем самым срок службы.

Применяя данный метод весомой является экологическая составляющая, что на сегодняшний день очень актуальна для Украины, в части утилизации электронного оборудования. Как правило, в связи с невозможностью разборки компонентов утилизация производится захоронением, накоплением в недрах земли вредных веществ или сжигание т.е. накоплением вредных веществ в атмосфере.

Например, за 15 лет утилизации подлежат 3 прибора (1 прибор – 5 лет), при использовании предложенного метода за 15 лет утилизации может подлежать только 1 прибор, утилизирующейся постепенно на протяжении 15 лет.

Поэтому при продвижении продукта производства до конечного потребителя и дальнейшее его существование в большой мере зависит не только от предпродажного и гарантийного сервиса, но и от правильной политики обеспечения послегарантийной жизни товара.

Правильный подход к сервисному обслуживанию влияет не только на сохранение достигнутого уровня рынка сбыта продукции и взаимоотношение с заказчиками, но и на экологическую и экономическую составляющую как производителя так и потребителя.

Для реализации вышеописанного метода предложено использование средств онтологического инжиниринга.

Онтология — это структурная спецификация некоторой предметной области, ее формализованное представление, которое включает словарь (или имена) указателей на термины предметной области и логические выражения, которые описывают, как они соотносятся друг с другом.

Онтология является видением эксперта предметной области начальной онтологии предметной области (ПрО), выраженным в некотором формальном представлении, что дает возможность использования этого понимания структуры и значения эле-

ментов информации при ее автоматической обработке. Именно формализация представления связей между понятиями в онтологии делает возможным их использование в широком спектре информационно-аналитических систем (далее - ИАС). В качестве онтологий, в разной степени формализованы, рассматриваются [4]:

- словарь с определениями;
- простая таксономия;
- тезаурус (таксономия со сроками);
- модель с произвольным набором отношений;
- таксономия и произвольный набор отношений;
- полностью аксиоматизирована теория.

Одновременно нужно подчеркнуть различие между фундаментальными онтологиями (fundamental ontologies), которые описывают предметную область максимально полно, безотносительно к приложениям и обычно с максимальной степенью формализации и прикладными онтологиями (application ontologies), которые также называются «легкими» онтологиями (lightweight ontologies) и которые формализуются настолько, насколько это необходимо для программы [5]. Как уже отмечалось, понятие онтологии, предназначенной для поддержки решения задач информационного поиска, должно быть аккуратно связано со значениями терминов предметной области ПРо. Такого рода онтологии называются лингвистическими онтологиями, главной характеристикой которых является то, что они связаны со значениями («are bound to the semantics») языковых выражений (слов, именных групп и т.д.) [4].

Формат представления онтологий задает вид их хранения в библиотеке, способ передачи онтологических описаний другим потребителям и метод обработки ее концептов. В качестве форматов разработаны определенные языки представления онтологий, наиболее известными из которых являются OWL, RDFS, KIF [5].

В формальном виде онтологическая система представляет собой отображение вида:

$$\Phi : I \rightarrow T, \quad (1)$$

где I - нерасширенный глоссарий онтологической системы; T - множество концептов предметной области; Φ - функционал состояния онтологической системы.

При этом отображение множества идентификаторов I во множество концептов T такое, что

$$\forall \tau \in T \exists I_s | \tau : I_s \rightarrow S, \quad (2)$$

где S - множество полей;

Отображение множества идентификаторов полей концепта во множество полей S , однозначно определяет сущность (концепт), что в свою очередь позволяет ввести операции над множеством $S \equiv \text{expr}(X)$, представляющие множество λ -выражений над системой типов X :

$$\text{expr}(X) \subset \Lambda(X), \quad (3)$$

включающих в себя отношения между концептами, ссылки на другие поля концептов, а так же ссылки на другие концепты.

Для отражения динамики функционирования онтологической системы рассмотрим поле концепта, как кортеж, состоящий из текущего значения поля, значения по умолчанию, процедур-демонов, процедур-запросов, ограничений и т.д. Таким образом, функция состояния Φ включает в себя статическую составляющую (концепты) и правила смены этого состояния. Данный подход дает возможность определить семантику с динамической модификацией множества правил, ограничений и других компонентов процессалогического вывода. Формально опишем поле концепта следующим образом:

$$S = \{(\text{val}, \text{def}, \{D_i\}, \{Tr_j\}, \{C_k\}, \subseteq_q, \subseteq_d, \alpha, \zeta)\}, \quad (4)$$

где $\text{val} \in X$ - текущее значение поля или NULL в случае, если значение не определено; $\text{def} \in X$ - значение поля по умолчанию или NULL в случае, если значение не определено; $\{D_i\}$ - множество присоединенных к полю процедур-демонов. Каждая процедура может быть произвольным выражением из некоторого множества выражений E^{set} , структура которого будет рассмотрена более подробно ниже; $\{Tr_j\}$ - множество присоединенных к полю процедур-триггеров. Триггер срабатывает при наступлении определенного условия, к примеру, присвоение значения полю концепта. Процедуры-триггеры $Tr_j : E^{\text{set}} \times \Phi^{\text{set}} \rightarrow \Phi^{\text{set}}$ применяются к функции состояния $\Phi \in \Phi^{\text{set}}$ в случае истинности некоторого выражения, и порождают тем самым новое состояние онтологической системы; $\{C_k\}$ - множество ограничений на значение поля, сформулированное в виде выражения-предиката, $C_k \in E^{\text{set}}$; $\subseteq_d, \subseteq_{Tr}$ - линейные порядки на множествах $\{D_i\}$ и $\{Tr_j\}$ соответственно, определяющие порядок применения соответствующих процедур в процессе вывода; $\alpha \in \{\text{true}, \text{false}\}$ - флаг, указывающий на участие поля в процессе рекуррентного восходящего логического вывода и служащий для предотвращения бесконечного заикливания; $\zeta \in \{\text{true}, \text{false}\}$ - флаг, указывающий на тип поля, и определяющий класс или экземпляр класса описан данным кортежем.

Для доступа к элементам

$$S = \{(\text{val}, \text{def}, \{D_i\}, \{Tr_j\}, \{C_k\}, \subseteq_q, \subseteq_d, \alpha, \zeta)\}$$

будем использовать обозначения $s.\text{value}$, $s.\text{default value}$, $s.\text{daemons}$, $s.\text{triggers}$, $s.\text{constraints}$, $s.\text{dsequence}$, $s.\text{triggerssequence}$, $s.\text{busy}$ и $s.\text{type}$ соответственно.

Аналогично, будем обозначать

$$\tau.s = \langle \tau, s \rangle \in I^{\text{set}}, \tau \in I, s \in I_\tau$$

для обозначения концепта, при этом для обозначения доступа к полю использовать запись $\Phi.\tau.s = \Phi(\tau, s)$.

Для описания операции изменения значения поля концепта введем функцию присваивания значения поля $\text{write}: I^{\text{set}} \times X \rightarrow \Phi^{\text{set}} \rightarrow \Phi^{\text{set}}$, формирующую новое состояние, которое будем обозначать как $\Phi[\tau, s \leftarrow v] = \text{write}(\Phi, \langle \tau, s \rangle, v)$. Эта функция формально представима следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi[\tau, s \leftarrow x] &= \lambda \tau_1 \lambda s_1. (\langle \tau_1, s_1 \rangle = \\ &= \langle \tau, s \rangle \rightarrow \Phi(\tau, s)[1 \leftarrow x], \Phi(\tau_1, s_1)), \end{aligned} \quad (5)$$

где $(b \rightarrow u, v)$ – операция условного вычисления нового значения поля концепта; $s[n \leftarrow x]$ – функция замены n -го компонента кортежа s на x : $(s[n \leftarrow x])_i = (i = n) \rightarrow x, s_i$. Аналогично определяет операция $\Phi[\tau.s.\text{busy} \leftarrow \text{true/false}]$ для присвоения логического значения компоненте $s.\text{busy}$.

Определим также операцию разности между состояниями $|-|: \Phi^{\text{set}} \times \Phi^{\text{set}} \rightarrow P(I^{\text{set}})$, возвращающую список идентификаторов полей, значения которых отличаются в двух известных состояниях (старом и новом):

$$\begin{aligned} \forall \langle \tau, s \rangle \in I^{\text{set}} \quad \langle \tau, s \rangle \in |\Phi_1 - \Phi_2| \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \Phi_1(\tau, s) \neq \Phi_2(\tau, s). \end{aligned} \quad (6)$$

Функция состояния Φ описывает не только текущие значения концептов в процессе логического вывода, но также и множество правил, которое в задаче синтеза ОСППР по выбору РИУ для сборки авиационных конструкций может быть принято постоянным, поскольку оно не изменяется в процессе логического вывода.

Таким образом, в описании ОСППР выделяется функция

$$\Phi: I^{\text{set}} \rightarrow X: \Phi(\tau, s) = \Phi(\tau, s).\text{value} \quad \forall \tau \in I, s \in I_\tau,$$

которая будет характеризовать чисто статическую составляющую состояния системы, а также комплементарную к ней функцию, которая в свою очередь будет постоянной в процессе логического вывода.

Множество состояний системы Ξ можно представить себе в виде графа, вершинами которого будут различные состояния $\Phi \in \Xi$, а дуги будут задаваться правилами логического вывода. Неопределенность при задании такого графа будет, в первую очередь, вызвана потенциальной бесконечностью (в теоретическом плане – континуальностью) множества значений (X) каждого из полей. Однако, на практике, число различных состояний в каждой базе знаний будет конечно, так как во множестве посылок (антецедентах) всех правил базы содержится конечное число условий.

Для формализации этого понятия введем в рассмотрение отношение эквивалентности \cong , при ко-

тором $\Phi_1 \cong \Phi_2 \Leftrightarrow \Phi_1, \Phi_2$ неразличимы с точки зрения базы знаний, т.е. для всего множества посылок C в левых частях правил базы знаний $\|c\|_{\Phi_1} = \|c\|_{\Phi_2} \quad \forall c \in C$, где через $\|c\|_{\Phi}$ обозначено значение посылки c в состоянии Φ .

Семантическое представление-представления моделируемой системы в виде сети объектов, имеющих семантические (логические) связи друг с другом, используется для передельного обработки против поддержки вербального описания и позволяет установить базовую логическую структуру исследуемой системы.

Для определения семантики процесса вывода в системе воспользуемся, аналогично [6], отображением $E: E^{\text{set}} \times \Phi^{\text{set}} \times C^{\text{set}} \rightarrow X \times \Phi^{\text{set}}$, которое дает возможность вычислить значение произвольного выражения $E \in E^{\text{set}}$ в некотором состоянии Φ и контексте C^{set} , транслируя полученное значение $v \in X$ и новое состояние Φ' . Будем использовать следующее обозначение:

$$v = \|E\|_{\Phi \rightarrow \Phi'}^C \Leftrightarrow E(E, \Phi, C) = (v, \Phi'). \quad (7)$$

Механизм логического вывода в создаваемой ОСППР подразумевает, что при вычислении значения выражения может быть инициирован вывод значений тех полей, для которых значение не известно заранее и не было получено ранее в процессе вывода. Определим также отношение $E': E^{\text{set}} \times \Phi^{\text{set}} \times C^{\text{set}} \rightarrow X \times \Phi^{\text{set}}$, аналогичное E , но не инициирующее процесс вывода. Для этого отображения будем использовать обозначение

$$v = \|E'\|_{\Phi \rightarrow \Phi'}^C \Leftrightarrow E'(E, \Phi, C) = (v, \Phi').$$

В дальнейшем, если это не оговорено отдельно, все приведенные для E результаты будут аналогичным образом формулироваться для E' .

Понятие контекста вычисления необходимо для описания семантики наследования, чтобы корректно применять правила для концепта-родителя к значениям в дочерних концептах. В нашем случае достаточно будет положить $C^{\text{set}} = I^{\text{set}}$, хотя в более сложных онтологических системах в понятие контекста обычно включают и другие конструкции [5].

Функционал редактора онтологии является одной из важнейших характеристик, под которой понимается множество предоставляемых пользователю сервисов работы с онтологическими структурами. Базовый набор функций обеспечивает [7]:

- работа с одним или несколькими онтологическими описаниями (проектами) одновременно;
- графический интерфейс с пользователем;
- редактирование онтологии (создание, редактирование, удаление концептов, отношений, аксиом и других структурных элементов онтологии)

- инкапсулирования онтологий в среду информационных систем.

К дополнительным возможностям относятся поддержка языка запросов, анализ целостности, использование механизма логического вывода, поддержку удаленного доступа через Интернет, документирования. Известны три группы инструментальных средств (ИнС) онтологического инжиниринга [4]. К первой группе относятся инструменты создания онтологий, которые предусматривают поддержку совместной разработки и просмотра, создания онтологии в соответствии с заданной (произвольной) методологии, поддержку соображений. Ко второй группе относятся инструменты объединения, отображения и выравнивания онтологий. Объединение предусматривает нахождение сходств и различий между исходными онтологиями и создания результирующей онтологии, которая содержит элементы исходных онтологий. [10]. К третьей группе относятся инструменты для аннотирования Web-ресурсов на основе онтологий.

Достаточно много внимания уделяется методике создания онтологий в статье Н. Ноя и Д. Мак-Гиннес [10]. основополагающие правила разработки онтологии авторы формулируют таким образом:

1) не существует единственно правильного

способа моделирования предметной области - всегда существуют жизнеспособные альтернативы;

2) разработка онтологии - это обязательно итеративный процесс. Под итеративным процессом понимается неоднократный проход по онтологии с целью ее уточнение: есть на начальном этапе строится «черновой» вариант; затем следует проверить и уточнить составленную онтологию, и добавляя детали быть частично или даже полностью пересмотреть начальную онтологию;

3) элементы онтологии должны быть близки к объектам (физических или логических) и отношений в определенной предметной области ПрО.

Это можно назвать онтологией задач.

Извлечение информации (Information Extraction) [8] - это подход, позволяющий сузить круг задач, требующих специфического предметно-ориентированного решения при анализе текста. В рамках этого подхода задача обработки текста ограничена распознаванием множества классов ключевых понятий конкретной предметной области и игнорированием всякой другой информации. Несмотря на то, что системы извлечения информации могут строиться для выполнения различных задач, порой сильно отличаются друг от друга, существуют компоненты, которые можно выделить практически в каждой системе (рис. 3).

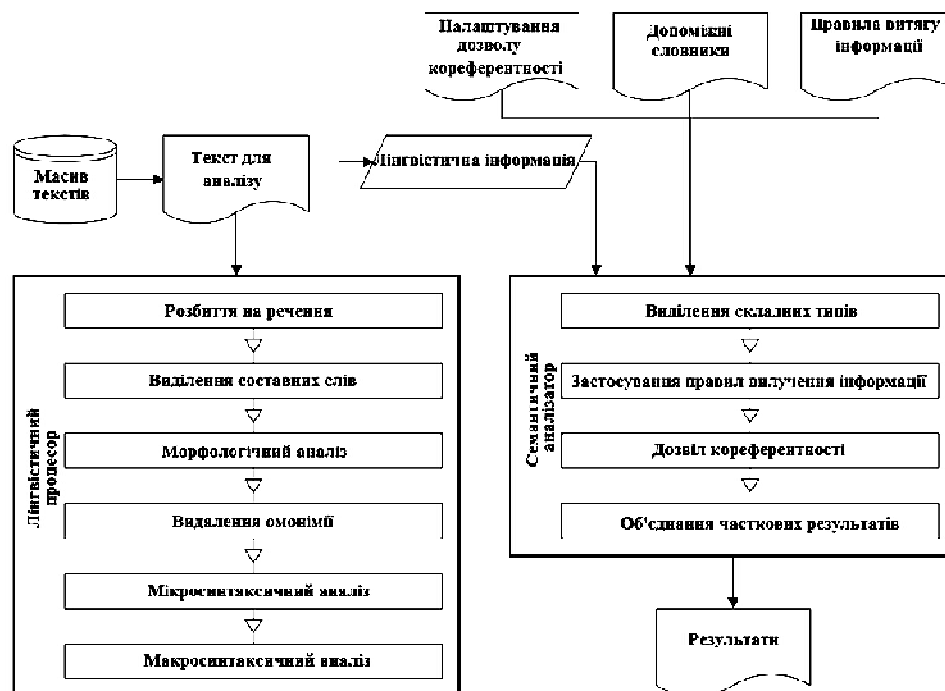


Рис. 3. Обобщенная архитектурно-структурная организация систем извлечения информации из текстов

В состав почти каждой системы извлечения информации входят четыре основных компонента, а именно:

- 1) компонент разбиения на лексемы;
- 2) определенный тип лексического или морфологического анализа, синтаксический анализ (микро- и макроуровень)

- 3) модуль извлечения информации;
- 4) модуль для анализа на уровне конкретной предметной области.

В зависимости от требований к конкретному программному продукту в приведенную выше схему добавляют дополнительные модули анализа (специальная обработка сложных слов; устранения омони-

ми, выделение составляющих типов, которое может также быть реализовано на языке правил извлечения информации; объединение частных результатов). В некоторые системы наряду с обычными средствами лексического и морфологического анализа могут быть включены модули для определения и категоризации атрибутов частей речи, смысловых нагрузок слов, имен или других нетривиальных лексических единиц.

Информационными компонентами специализированной оболочки для сложно-структурированной ПрО являются многоуровневая модульная онтология и модульная база знаний [8]. Создание и редактирование информационных компонент осуществляется многоуровневым редактором онтологий и редактором знаний, разработка которых основывается на онтологии уровня п.

Таким образом, специализированная оболочка должна содержать расширяемые библиотеки систем для решения задач различных классов, системы автоматического построения методов решения задач по их спецификации.

Метод решения задач может быть представлен либо в виде алгоритма, или в виде множества правил системы продукций. В первом случае для создания решателя задач используется процессор алгоритмического языка, во втором случае - процессор языка, основанного на правилах, который является одним из программных компонент специализированной оболочки.

Интеллектуальная система извлечения данных и их анализа (на основе текстов) ИСИДА-Т [9], обеспечивает добычу значимой информации определенного типа с (больших массивов) текста для последующей аналитической обработки. Результатом работы систем является получение структурированных данных и отношений на них. Основные компоненты ИСИДА-Т:

Инфраструктурные службы (конфигурация, параллельная обработка, взаимодействие модулей)

Лингвистический процессор;

Модули работы со знаниями ПрО;

Интерпретатор правил извлечения информации.

В рамках проекта ИСИДА-Т технологии, инструменты и продукты позволяют:

выявлять в электронных документах, извлекать и структурировать информацию о фактах, событиях, объектах и отношениях, представляющих интерес;

выполнять мониторинг сайтов в сети Интернет на предмет появления там значимой для пользователя информации.

Основные рабочие характеристики технологии и продуктов:

Поддержка русского языка;

быстрая настройка на предметную область с помощью эффективных инструментальных средств;

высокая точность и полнота анализа за счет использования предметных знаний;

наличие встроенных средств визуализации результатов анализа в виде диаграмм и схем;

легкая интеграция в другие информационные системы на любом уровне (программный или сетевой интерфейс, БД);

функционирование под управлением ОС Windows и большинства Linux-систем;

близкая к линейной масштабируемость при параллельной архитектуре анализа;

возможность работы на вычислительных машинах кластерного типа.

Некоторые области применения технологий семантического анализа и структурирования текстовой информации:

информационная поддержка бизнеса (business intelligence) и управления знаниями (knowledge management);

маркетинговые исследования;

финансовая аналитика;

военная и коммерческая разведка и мониторинг;

информационная поддержка органов государственной власти (в рамках направления «Электронное правительство»);

работа библиотек, издательств и СМИ.

Для распознавания текстовых ситуаций используется набор правил, описывающих характерные для конкретной задачи способы выражения ситуации в тексте. Эти правила задают образец для сравнения и действия, которые должны быть сделаны после успешного сопоставления. Ряд современных систем извлечения информации (в том числе, система ИСИДА-Т) берут за основу различные диалекты языка CPSL [9]. Использование этого языка предполагает разметку текста с помощью аннотаций.

Язык правил, который используется в системе ИСИДА-Т, является расширением CPSL. Предлагаемые расширения преследуют две цели: 1) обеспечить возможность описывать более сложные контексты, в которых встречается целевая информация, и 2) снизить объем рутинной работы при создании системы правил за счет более компактного описания контекста [9].

Отличия от других реализаций, например, JAPE [8] или диалекта CPSL заключаются в следующем:

Реализована встроенная поддержка расширенного спектра типов данных, в том числе, ссылки на аннотации и множественных значений. Данные этих типов могут использоваться в качестве значений переменных и значений атрибутов аннотаций.

Логика работы интерпретатора правил приведена в максимальное соответствие поведению интерпретатора обычных регулярных выражений. От-

личия от современной реализации JARE и Montreal transducer заключаются в поддержке «жадных» и «нежадных» квантификаторы и опережающей проверки.

Поддерживаются кванторы существования (по умолчанию) и всеобщности, связывающие элементарные тесты. К кванторов может добавляться возражения.

Существуют языковые средства, позволяющие гибко проверять взаимное расположение аннотаций, которые рассматриваются в контексте сопоставления и других аннотаций во входной коллекции.

В тестах могут использоваться функции для обращения к ресурсу знаний, например, проверки таксономической принадлежности элементов. Для более сложных запросов к ресурсу знаний используется предметно-ориентированный язык, совпадающий с языком описания левой части правил трансформации.

Для передачи информации между элементарными тестами, а также в правую часть правил могут использоваться именованные переменные, значения которых присваиваются явно в ходе сопоставления. Множество значений переменных входит в контекст сопоставления.

Главной чертой применения трансдисциплинарного подхода к обеспечению интеграции информационных ресурсов глобальной среды «на лету» является обеспечение достоверной и корректной процедуры связывания контекстов поле тематических информационных ресурсов на основе множественной упорядоченности.

Основная цель использования предметных знаний - сообщение информации, а также доказательство ее истинности. Для него характерно наличие малых сроков, общенаучных слов, абстрактной лексики, в нем преобладает существительное, немало отвлеченных и вещественных существительных. Суждения имеют вид конкретных высказываний и утверждений и определяют наборы действий, которые могут быть применимы в процессе решения конкретных предметно-тематических задач.

Обобщенная процедура поддержки процессов формирования иерархий контекстов Про при трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов глобальной среды приведены на рис. 4.

В результате применяя инструменты онтологического инжиниринга становится возможным существенно сократить время и достоверность информации касательно наукоемкой техники потребителя (моральное, физическое устаревание – необходи-

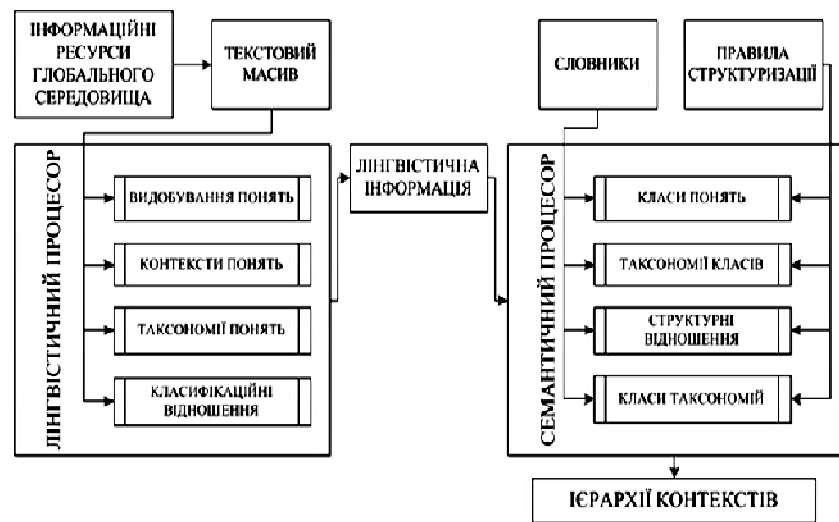


Рис.4. Обобщенная процедура поддержки процессов формирования иерархий контекстов

мость замены той или иной детали), требующей сервисного обслуживания.

Таким образом концепция метода **мониторинга морального старения наукоемких изделий** на основе онтологий состоит в следующем:

- консолидация и интеграция всей имеющейся корпоративной информации и представления ее через систему «единого окна», за счет чего повышается уровень осведомленности всех категорий пользователей в их деятельности;

- обеспечение бесшовной системной интеграции информационных технологий и инноваций с целью создания информационно-аналитических ресурсов для внедрения в бизнес-процессы организации;

- создание условий «ситуационной осведомленности» всех заинтересованных категорий пользователей с многоаспектным анализом массивов документов, их анализом, сравнением, рейтингованием с выводом отчетов и результатов анализа;

- обеспечение онтологического управления информационными массивами, которые объединяются в единый корпоративный информационное пространство - онтолого-управляемую систему корпоративных знаний;

- поиск в сети Интернет и в файловых электронных коллекциях текстовых документов, релевантных тематике исследований и экспертизы;

- автоматическая обработка естественно-языковых текстов с выделением поверхностных семантических отношений для дальнейшего их анализа;

- извлечение из множества документов знаний, релевантных выбранной предметной области, их системно-онтологическое структурирование и формально-логическое представление, а также построение, визуализация и верификация семантических структур синтаксических единиц текстовых документов и категориальных знаний заданной предметной области в виде онтологического графа;

- автоматизированное составление онтологий и тезаурусов предметных областей для организации системы управления знаниями;
- автоматизированный анализ и создание системы рейтингов объектов исследования и процессов с ними связанных с учетом всего множества факторов, влияющих на соответствующие объекты и процессы;
- обеспечение многовекторного исследования объектов и процессов с целью выявления влияния параметров на их состояние, развитие и принятие соответствующего объективного решения.

Выводы

Сделаем выводы с точки зрения бизнеса.

Платить налог на имущество для устаревшего или давно не применяемого электронного оборудования и офисной техники как минимум неразумно. Так же как и продолжать медленно списывать старую технику через амортизацию. Гораздо выгоднее вовремя освободить себя и организацию от этих обременительных обязанностей.

Преимущества реализации информационной поддержки этапа утилизации:

- не требует постоянных и крупных капиталовложений;
- места складирования отходов могут не обновляться десятилетиями;
- позволяют одновременно избавиться от большого количества расходов;
- результаты разрушительного влияния свалок на природу не видно сразу;
- совмещение охраны окружающей среды с экономической выгодой.

Список литературы

1. *Електронний ресурс*. – режим доступу [http://www.unian.ua/society/1109219-groshi-ne-pahnut-chi-zmoje-ukrajina-otrimuvati-pributki-zi-smittyu.html]

2. *Электронное учебное пособие по дисциплине «Международные стандарты обмена данными» СПбГУ-АП, Санкт-Петербург, 2011 год.* – режим доступу [http://www.salogistics.ru/students/suai_2011/page3.html].

3. Собчак, А. П. Роль сервісного обслуговування в просуванні промислового обладнання на ринку [Текст] / А. П. Собчак, С. В. Коваленко // *Бізнес Інформ*. – 2013. – № 5. – С. 356–360.

4. Гаврилова Т. А. *Онтологический инжиниринг // Сб. докладов Восьмой науч.-практич. конфер. «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями».* Москва.— 2005.— С. 79—82.

5. Палагин А. В. *К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко.* – Математические машины и системы, 2007. – №3,4. – С. 63–75.

6. Gruber T. R. *A translation approach to portable ontology specifications / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition.* – 1993. – Vol. 5. – P. 199 – 220.

7. *Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics.* – Princeton : Institute for Advanced Study, 2013. – 603 p.

8. Noy N. *SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment / N. Noy, M. Musen.* – Stanford Medical Informatics, Stanford Univ. – 1999. – 24 p. Режим документа: <http://ais-portal.ru/2009/03>. – Дата доступа: 17.12.2016.

9. Кормалев Д. А., Куриев Е. П. *Развитие языка правил извлечения информации в системе ИСИДА-Т // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения».* — Т. 2. — М.: Физматлит, 2006. — С. 365-377.

10. *OKBC: A Programmatic Foundation for Knowledge Base Interoperability.* V. Chaudhri, A. Farquhar, R. Fikes P. Karp J. Rice // *Fifteenth National Conf. on Artificial Intelligence.* AAAIPres/The MIT Press, Madison, P.600-607, 1998. <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/index.html>.

Надійшла до редколегії 17.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків.

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ЕТАПУ УТИЛІЗАЦІЇ ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ НАУКОМІСТКОЇ ТЕХНІКИ

А.П. Собчак, О.І. Попова

Запропоновано метод моніторингу морального старіння наукомістких виробів з використанням онтологічного інжинірингу, метод «м'якої утилізації» виробів складної техніки шляхом інформаційної підтримки етапу утилізації із застосуванням інструментальних засобів онтологічного інжинірингу, який забезпечує як пролонгацію терміну експлуатації виробу так і зменшення статті витрат споживачів виробу, при цьому маючи значно вплив на екологічну складову країни в позитивну сторону.

Ключові слова: життєвий цикл, м'яка утилізація, сервісне обслуговування, онтологічний інжиніринг, витяг коштів, інтелектуальна система отримання даних, трансдисциплінарний підхід, інструментальних засобів онтологічного інжинірингу.

INFORMATION SUPPORT TO THE STAGE OF UTILIZATION OF PRODUCTS OF COMPLEX SCIENCE TECHNIQUE

A.P. Sobchak, O.I. Popova

A method for monitoring the moral aging of science-intensive products using ontological engineering is proposed, the method of "soft recycling" of products of complex equipment by informational support of the recycling stage with the use of ontological engineering tools that ensures both prolongation of the product lifetime and a reduction in the cost of product consumers, Significantly impact on the environmental component of the country in a positive way.

Keywords: life cycle, soft recycling, after-sales service, ontological engineering, extraction of funds, intellectual data extraction system, transdisciplinary approach, ontological engineering tools.

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.642.88

О.С. Задунай¹, С.І. Азаров²

¹ Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ

Більшість об'єктів підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН) функціонує на даний момент за застарілими технологіями, на зношеному технологічному обладнанні і знаходяться поблизу великих населених пунктів. У цих умовах особливо актуальним стає створення системи моніторингу екологічної безпекою на ОПЕН в режимі реального часу. Обґрунтовано і розроблено вимоги до апаратно-програмного комплексу оперативного контролю та управління мінімізацією ризиків для ОПЕН, а також принципи побудови комплексу оперативного моніторингу перед аварійного та аварійних станів.

Ключові слова: об'єкти підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН), моніторинг екологічної безпекою на ОПЕН, нестаціонарність ризиків, синергетичні ризики, апаратно-програмний комплекс.

Вступ

Розслідування причин виникнення аварійних ситуацій на ОПЕН дозволило виявити наступні основні вражаючі фактори [1, 2]:

- вибухопожеженебезпечність, викликана вибухами парів пального, розривів трубопроводів і технологічного обладнання;
- детонація вибухових матеріалів і детонація, що утворюється при змішуванні рідин з різними температурами;
- токсичне зараження хімічно небезпечними речовинами;
- термічне ураження;
- ураження осколками.

Крім того, слід виділяти окремі фактори ураження, пов'язані з утворенням агресивних речовин, що призводять до корозії металу, а також впливу горючих рідин і низьких температур та ін.

Виявлення джерел небезпечних ситуацій і пов'язаних з ними ризиків включає в себе наступну інформаційну послідовність операцій [3, 4]:

- експертиза екологічної небезпеки ОПЕН;
- складання декларацій промислової екологічної безпеки ОПЕН, включаючи результати аналізу ризиків аварійних ситуацій, результати проведення експертизи розроблених декларацій наглядовими органами;
- розслідування і аналіз причин аварійних ситуацій, включаючи аналіз відмов технологічного обладнання, з подальшою розробкою організаційних

і технічних заходів щодо раннього виявлення і попередження аварій;

- моніторинг експлуатаційної надійності технологічного обладнання ОПЕН з метою раннього розпізнавання аварійних ситуацій і отримання інформації про найбільш небезпечні ділянки;
- оцінка очікуваного збитку і енергоефективності виробництва;
- оцінка інтегральної ймовірності виникнення аварійних ситуацій з урахуванням наявних інформаційних потоків, які є основою для поставленого завдання управління мінімізацією ризиків.

В цьому випадку інформаційну основу управління екологічної безпекою ОПЕН становитиме автоматизована інформаційно-керуюча система, принцип створення якої має відповідати вимогам проектування та експлуатації ОПЕН з позицій безпеки їх функціонування, включаючи мінімізацію екологічного збитку. Слід особливо виділити інформаційні потоки, пов'язані з відмовами технологічного обладнання та з порушеннями технологічних процесів, що задаються, в потенційно небезпечних технологічних установках.

Враховуючи, що згідно вищевикладеної стандартної методології аналізу ризику, розвиток аварійної ситуації обумовлено, в основному, характеристиками пожежевибухонебезпечних і токсично небезпечних речовин та характером аварійних викидів, де необхідно виділити аварійні ситуації, пов'язані з розривом ємностей, що містять газ або рідкі вуглеводні під тиском або в криогенному вигляді.

Подібні аварійні ситуації відбуваються через підігрів (найчастіше в результаті горіння нафтопродуктів) і характеризуються утворенням «вогненної кулі» або газовим вибухом. В цьому випадку відбувається повне руйнування технологічного обладнання, що містить зріджений газ або газ під тиском.

Найчастіше зустрічаються аварійні ситуації на ОПЕН з неповним руйнуванням обладнання пов'язані із закінченням небезпечної речовини через отвори, що утворилися в ємності. Розглянуті в цьому випадку аварійні ситуації включають в себе як розриви технологічних трубопроводів, так і витік через несправні вентилі, муфти та дефекти герметичності, викликані корозією або перевищенням термінів експлуатації ОПЕН.

Результати досліджень

Розроблена інформаційна модель управління безпекою ОПЕН з використанням сучасного рівня розвитку методології аналізу системних ризиків і прогнозних сценаріїв розвитку нестационарних аварійних ситуацій представлена на рис. 1.



Рис. 1. Інформаційна модель управління безпекою ОПЕН з використанням методології аналізу системних ризиків

Відмінними особливостями представленої моделі є наявність інформаційного модуля аналізу нестационарності експлуатаційних характеристик ОПЕН (зміна в часі якості сировини і продуктивності установок енергоефективності силових впливів, тиску, температури, швидкості корозії, вібрацій та ін.) та модуля управління мінімізацією системних ризиків, що дозволяють підвищити достовірність оцінки небезпеки і розробити заходи та алгоритми

мінімізації ризику для окремих стадій аварійних ситуацій за допомогою додаткового введення в систему зворотних зв'язків з об'єктом управління.

Як приклад представлена функціональна схема можливих сценаріїв розвитку аварійних ситуацій для типової технологічної установки підприємства (рис. 2), де розглянуті основні етапи виникнення та розвитку аварійних ситуацій з урахуванням нестационарності умов їх виникнення при функціонуванні нафтогазового обладнання із зазначенням основних причин виникнення аварійних ситуацій.



Рис. 2. Прогноз сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій на ОПЕН

Розрахунок імовірності виникнення аварійних ситуацій і сценаріїв їх розвитку в технологічних модулях нами взяті з відомих літературних джерел, на основі відомих методик побудови «дерев відмов» і «дерев подій». В цілому, запропонована методологія аналізу ризиків з урахуванням нестационарності технологічних процесів і нестационарності самих небезпечних об'єктів зводиться до виконання наступних методичних прийомів і рекомендацій:

- ідентифікація небезпек і їх джерел на основі кореляційних матриць;
- оцінка кореляційних моментів факторів небезпеки;
- розрахунок взаємозв'язків сценаріїв розвитку аварій з урахуванням факторів ураження;
- імовірнісно-статистична оцінка вражаючих впливів;
- побудова «дерев відмов» і «дерев подій» з урахуванням нестационарності ОПЕН;
- розрахунок функцій взаємної кореляції часових розподілів чинників небезпек;
- розрахунок коефіцієнтів когерентності факторів небезпеки;
- розрахунок тимчасових інтервалів кореляції, що визначають міжремонтний період;
- побудова кореляційних матриць для оцінки факторів небезпеки;

- ранжування технологічних установок за категоріями небезпеки;
- визначення збитків від впливу факторів ураження;
- визначення енергоефективності ОПЕН і рівня прийнятного ризику;
- розрахунок сумарного технічного ризику виникнення небезпечних ситуацій з урахуванням синергетичного ефекту і енергоефективності технологічної установки.

Типовий алгоритмічний взаємозв'язок в системі оцінки небезпек з урахуванням нестаціонарності ризиків і нестаціонарності самого технологічного обладнання наведений на рис. 3.

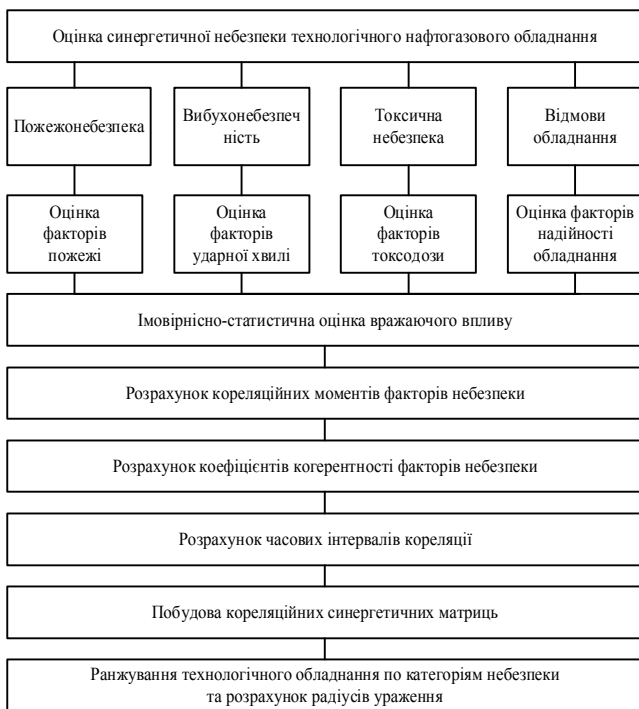


Рис. 3. Алгоритмічний взаємозв'язок в системі оцінки потенційних небезпек

Наведені на рис. 4 алгоритмічні взаємозв'язки і вищенаведені алгоритми кореляційного аналізу небезпечних ситуацій з урахуванням нестаціонарності технологічних процесів дозволяють по-новому підійти до реалізації технології управління мінімізації ризиків на основі їх кількісної оцінки. Для прогнозу оцінки частоти аварійних ситуацій через відмови технологічного обладнання було використано досвід експлуатації наведених вибухопожежонебезпечних модулів і статистичні дані обстеження аналогічних установок. Основними перевагами запропонованого і розробленого кореляційного методу є:

- ідентифікація і ранжування небезпеки в одних і тих же величинах;
- запропонована оцінка потенційної небезпеки за величинами кореляційних моментів факторів вибухопожежонебезпечності, чинників токсичності (хімічної небезпеки) і чинників відмови обладнання дозво-

ляє кількісно оцінити синергетичний ефект, що характеризує потенційну небезпеку в заданій точці розміщення модулів технологічної установки з урахуванням нестаціонарності технологічних процесів, що не піддаються вимірюванню в процесі експлуатації ОПЕН;

- на підставі розрахунку прогнозних оцінок когерентності представляється можливим визначити узагальнений показник ризиків будь-якого вибухопожежонебезпечного об'єкта.

Незважаючи на достатній досвід побудови «дерев подій» в даний час відсутні нормативно-командна база та методичні рекомендації для побудови «дерев подій» з урахуванням нестаціонарності ОПЕН. Облік прогнозних величин очікуваних втрат $F_{втр}$ в разі реалізації технічних рішень по мінімізації синергетичного ризику здійснюється як:

$$F_{втр} = \sum_1^i R_{1,i} \cdot W_i \quad (1)$$

Оптимальне рішення для мінімізації можливих збитків визначається по мінімуму $F_{втр}$

$$F_{втр} = \min F_{втр} \quad (2)$$

Для виключення невизначеності можливого прийняття оптимальних або раціональних технічних і організаційних рішень з управління мінімально допустимим рівнем ризику при експлуатації технологічного обладнання ОПЕН в разі оперативного моніторингу об'єктів в режимі «On-Line» автором обґрунтовано і запропоновано використовувати для раннього розпізнавання аварійної ситуації відносний показник небезпеки, який визначається по відношенню автокореляційних функцій контрольованих основних параметрів експлуатації в різних часових інтервалах: продуктивності окремих модулів установки, тиску, температури і вібрації.

У цьому випадку величина прогнозованого відносного показника ризику індексу нестаціонарності (R_{max}) визначається як:

$$R_0 = \frac{R'_{max}(\Delta\tau_1) - R''_{max}(\Delta\tau_2)}{R'_{max}(\Delta\tau_1)} \quad (3)$$

де R'_{max} , R''_{max} - автокореляційні функції, що змінюються в часі нестаціонарних випадкових процесів; $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$ - часові інтервали обстеження (вимірювання) автокореляційних функцій R' і R'' відповідно.

Сумарний відносний ризик на ранній стадії виникнення аварійної ситуації при n небезпеках визначається як:

$$R_0^\Sigma = \sum_{i=1}^n R_{0i} \cdot K_{\Gamma_i} \quad (4)$$

У порівнянні зі стандартним методом розрахунку «абсолютного ризику», що визначається за величиною потенційного матеріального збитку при виникненні аварії, запропонована технологія дозволяє прогнозувати і ранжувати ОПЕН за ступенем небезпеки не тільки на стадії проектування, але і в

процесі експлуатації технологічного обладнання на стадії виникнення перед аварійної ситуації.

В основу концепції управління мінімізацією ризиків може бути покладено кореляційний підхід до розробки технології управління потенційно небезпечними об'єктами, коли реалізується рішення інтегрального рівняння:

$$R_{c,n}(\tau) = \int_0^{\infty} R_c(\tau - \theta) \cdot h(\theta) d\theta, \quad (5)$$

де R_c - автокореляційна функція продуктивності (витрати) сировини на вході реакційного модуля технологічної установки; $R_{c,n}$ - функція взаємної кореляції продуктивності Q (витрати) сировини і продуктивності (витрати) продукту; $h(\theta)$ - імпульсна перехідна характеристика потенційно небезпечного об'єкта технологічної установки.

Для визначення параметрів h достатньо лише визначити в процесі експлуатації ОПЕН автокореляційні і взаємкореляційні функції по витраті сировини і продуктивності по продукту.

Слід зазначити, що в загальному випадку кореляційну функцію визначають за відомою формулою:

$$R(\tau) = \int_0^{\infty} f_1(t) f_2(t - \tau) dt \quad (6)$$

У випадку $f_1(t) = f_2(t)$ наведений вираз являє собою функцію автокореляції $R_1(\tau)$, у разі $f_1(t) \neq f_2(t)$ - функцію взаємної кореляції $R_{1,2}(\tau)$.

При остаточних розрахунках з вибору оптимальних режимів функціонування ОПЕН згідно з даними наведеного інтегрального рівняння, що забезпечують заданий критерій мінімуму потенційної небезпеки R_2 і K_T , необхідним є моніторинг вхідних і вихідних режимних параметрів модулів технологічної установки в режимі «On-Line». При цьому

керуючими впливами, що забезпечують зворотний зв'язок в системі управління ОПЕН, будуть енергетичні характеристики і тривалість імпульсної перехідної характеристики $h(\tau)$, забезпечують заданий рівень ризику згідно алгоритмам (5) і (6).

Висновки

Наведено результати аналізу і досліджень нестационарності технологічних процесів і технологічного обладнання та показана необхідність їх врахування при проектуванні і безпечній експлуатації ОПЕН. Розроблено алгоритмічне забезпечення кількісної оцінки відносного показника небезпеки технологічного обладнання, що дозволяє кількісно оцінити сумарну потенційну пожежонебезпеку, вибухонебезпечність і надійність обладнання, з урахуванням нестационарності експлуатації ОПЕН. Розроблено вимоги до побудови функціональної схеми безпечної експлуатації обладнання з урахуванням нестационарних ризиків.

Список літератури

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 р. № 2245-III.
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000.-201с.
3. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Ребрик С.Б. Анализ риска и проблемы безопасности. Препринт М.: ВНИИСИ, 1990. - 60 с.
4. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика // серия Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения. — М.: Наука, 2000.-431 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ

А.С. Задунай, С.И. Азаров

Большинство объектов повышенной экологической опасности (ОПЭО) функционирует на данный момент по устаревшим технологиям, на изношенном технологическом оборудовании и находятся вблизи крупных населенных пунктов. В этих условиях особенно актуальным становится создание системы мониторинга экологической безопасности на ОПЭО в режиме реального времени. Обоснованы и разработаны требования к аппаратно-программному комплексу оперативного контроля и управления минимизацией рисков для ОПЭО, а также принципы построения комплекса оперативного мониторинга перед аварийного и аварийных состояний.

Ключевые слова: объекты повышенной экологической опасности (ОПЭО), мониторинг экологической безопасности на ОПЭО, нестационарность рисков, синергетические риски, аппаратно-программный комплекс.

THE PRINCIPLES OF AN OPERATIONAL MONITORING SYSTEM OF ECOLOGICAL SAFETY OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS ON THE BASIS OF MINIMIZING THE RISKS

O.S. Zadunaj, S.I. Azarov

Most of the objects of high environmental hazard (OHEH) operates on the currently outdated technology, process equipment worn on and are located near major population centers. Under these conditions, especially important is the creation of environmental safety monitoring system OHEH in real time. Substantiated and developed requirements for hardware and software complex operational control and management by minimizing the risks to OHEH and principles of real-time monitoring of the complex before the disaster and emergency conditions.

Keywords: objects of high environmental hazard (OHEH), monitoring of environmental safety OHEH, unsteadiness risks synergistic risks of hardware and software.

УДК 504.064.2:628.394

В.М. Теут

Науково-виробнича впроваджувальна фірма ТОВ «ГЕОТЕХНОЛОГІЯ», Київ

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЇ МОРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО СУДНА

У статті представлені результати аналізу літератури що пов'язані із створенням систем екологічного моніторингу морської поверхні і вирішується завдання використання екологічного судна при проведенні екологічного спостереження в умовах розливу шкідливих речовин або нафти (нафтопродуктів).

Ключові слова: *аналіз, екологічний моніторинг, морська акваторія, вплив, спеціалізоване судно.*

Вступ

Актуальність теми. Дослідження, проведені екологами в морях і океанах показали, що останнім часом відбувається зміни в певних морських екосистемах, які пов'язані з дією шкідливих речовин, і в першу чергу з розливом нафти і нафтопродуктів [1]. При цьому нафтові розливи у водному середовищі можуть статися на будь-якому з етапів пов'язаних з видобутком, зберіганням або транспортування нафти. Все це наводить до розробки нових систем екологічного моніторингу водних поверхонь і у випадках розливу нафти до її локалізації з можливістю усунення наслідків. При цьому, усунення наслідків пов'язане з визначенням необхідного складу сил і засобів, а також проведення безпосередніх заходів щодо виявлення і ліквідації розливів шкідливих речовин або нафти (нафтопродуктів). Одним з раціональних підходів є створення систем екологічного моніторингу на основі використання спеціалізованого судна [2]. Це дає можливість не лише зняти проби морської води, але і використовувати імітаційних систем що здійснюють прогнозування результатів розливу шкідливих речовин (зокрема нафти і нафтопродуктів), з визначенням можливого району поширення і оцінки ризику впливу на довкілля з обчисленням збитку екосистемі. Окрім цього необхідно вироблення рекомендацій по проведенню організаційно-технічних рекомендацій по залученню сил і засобів, для ліквідації розливів нафти і нафтопродуктів в морському середовищі. Це необхідно для локалізації і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій при можливих розливах шкідливих речовин, нафти і нафтопродуктів [3]. Тому дане завдання, є важливою і має прикладний характер.

Аналіз джерел літератури і наочної області. Аналіз літератури [1÷4] показав, що на сьогоднішній день великомасштабні розливи нафти і нафтопродуктів пов'язані з аваріями на танкерах і пошкоджених нафтових платформах, що відносяться до найбільш частих і небезпечних по своїх наслідках

надзвичайних ситуацій. Дослідження показали, що на сучасному етапі недостатньо приділяється уваги питанням пов'язаних визначенням стану якості водного середовища, а також завдань що пов'язані з проведенням екологічним моніторингом, і в разі виникнення визначенню розмірів розливу шкідливих речовин або нафти (нафтопродуктів) і її поширення у водному середовищі, прогнозування поширення, а так само визначення складу і розрахунку матеріально-технічних засобів для ліквідації наслідків розливу [3]. Все це наводять до складної проблеми пов'язаної з очищенням води від даних забрудників і відновлення морської екосистеми у відповідність. Тому особливу роль грає створення і використання систем екологічного моніторингу морського середовища в акваторіях для необхідності моделювання різних надзвичайних ситуацій з можливістю ліквідації наслідків розливу нафти і нафтопродуктів.

Мета статті. В зв'язку з цим в статті представлена методика проведення екологічного моніторингу моря із застосуванням спеціалізованих судових засобів з можливістю надання інформації для ліквідації наслідків розливу в морському середовищі.

Виклад основного матеріалу

Особливості проведення екологічного моніторингу в акваторії моря пов'язано із створенням системи регіонального моніторингу, яка здійснює спостереження за якістю поверхневих вод, характеристику глибинного профілю і використовує наступні принципи: комплексність і систематичність спостережень, узгодженість термінів їх проведення з характерними гідрологічними ситуаціями, визначення показників якості води єдиними методами [5]. При цьому застосовуються програми контролю за фізичними, хімічними, гідробіологічними і гідрологічними показниками; здійснюється періодичність проведення контролю; проводиться відбору і аналізу проб води, у відповідності існуючих методик.

Організація проведення екологічного моніторингу морських екосистем є комплексною системою спостережень за їх атмосферними, поверхневими і підземними джерелами. Тому оцінку стану необхідно проводити відносно комплексної системи спостережень, оцінки і прогнозу зміни стану природного середовища під впливом антропогенних чинників.

Екологічний моніторинг проводиться виходячи із значення міри антропогенного впливу на екосистему на основі вживання пунктів спостережень і є точками, де систематично здійснюється відбір проб для подальшої оцінки показників якості води. Як пости спостережень використовують гідрометорологічні буї, на які в автоматичному режимі збираються первинні дані про морське середовище (температурі, вологості, солоності, рівнях концентрації і так далі). Ці дані передаються на гідрометорологічні станції, де надаються на вимогу. Проте збір первинної інформації не дає повної картини про зміну морської екосистеми в разі антропогенного впливу.

Тому застосовуються спеціалізовані судна екологічного моніторингу, які є експериментальними лабораторіями, оснащеними устаткуванням для оцінки стану водних систем експресними або дистанційними автоматизованими методами [4]. При цьому, спеціалізовані судна мають в своєму розпорядженні автоматичні станції контролю якості води, що виконують роботу в автономному режимі ефективними засобами [6].

Недоліком даних технічних засобів, є мінімальна допустима автономність плавання судна, визначувана кількістю і дислокацією приймальних пристроїв в районі передбачуваної експлуатації судна [2, 3].

У зв'язку з цим пропонується використовувати методику проведення екологічного моніторингу акваторії моря за допомогою спеціалізованого судна на основі поетапного виконання існуючого науково-методичного апарату представленого в роботі [3].

На рис. 1. представлена структура методики проведення моніторингу морської акваторії.

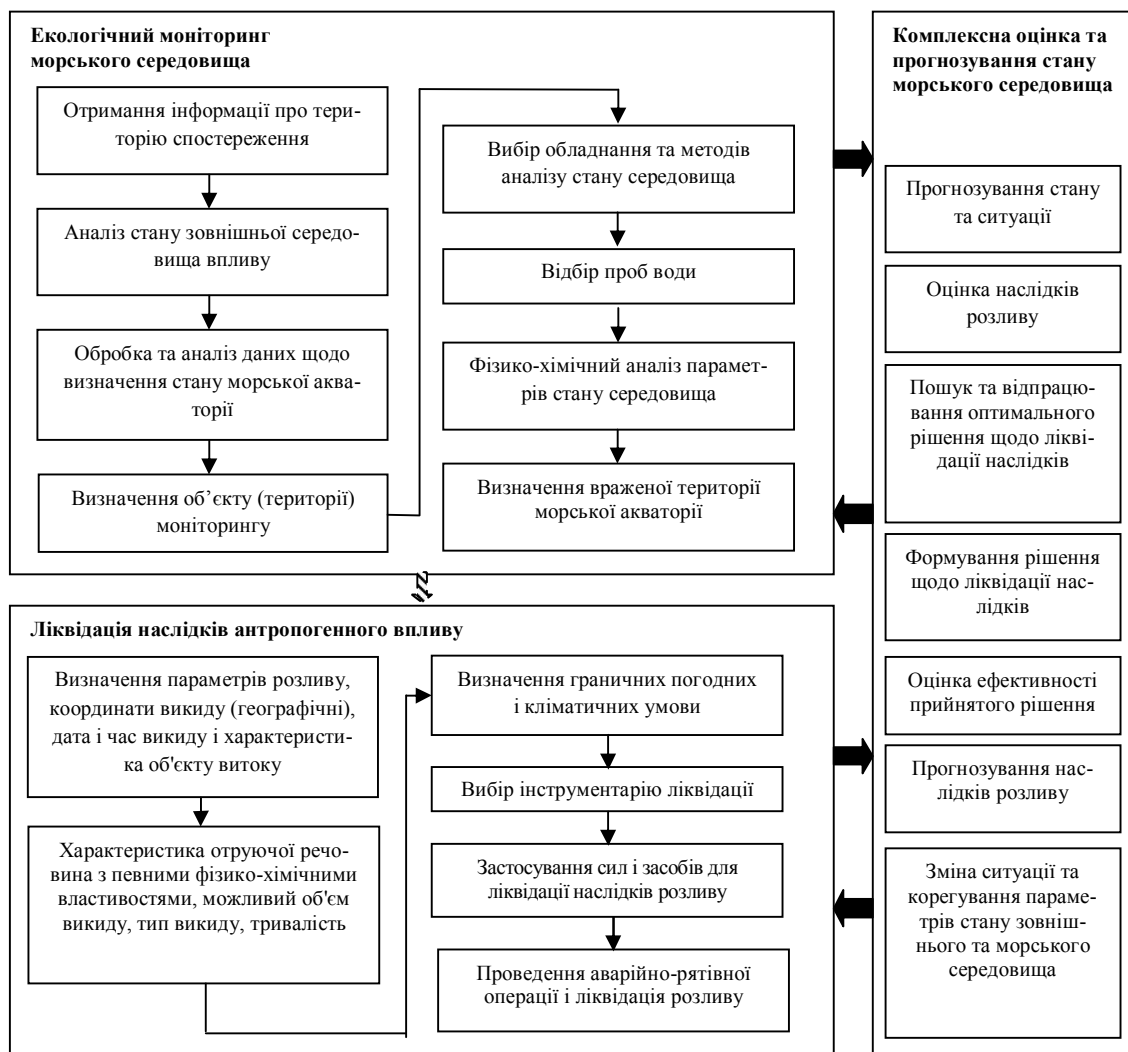


Рис. 1. Структура методики проведення моніторингу в морській акваторії

Методика проведення екологічного моніторингу морського середовища в акваторії включає три основні взаємозв'язані етапи:

1. *Етап.* Екологічний моніторинг морського середовища.

2. *Етап.* Комплексна оцінка та прогнозування стану морського середовища.

3. *Етап.* Ліквідація наслідків антропогенного впливу.

Розглянемо детальніше перший і другий етапи, оскільки вони є ключовими при проведенні моніторингу, а також при обґрунтуванні вирішення на ліквідацію наслідків розливу шкідливих (що отруюють) речовин.

1. *Етап.* Екологічний моніторинг морського середовища.

На початковому етапі організації екологічного моніторингу по спостереженню і контролю якості морських вод є визначення території спостереження і місць (точок) контролю. Місце контролю вибирається в першу чергу в тих точках, в яких є великий антропогенний вплив, а також схильних до значного забруднення шкідливих речовин (місце видобутку нафти). Тому необхідно провести аналіз стану морського середовища з врахуванням впливу зовнішніх метеоумов. Це не обходжений для подальшого використання в імітаційній моделі при прогнозуванні.

Для дослідження природних процесів впливу метеоумов і визначення фонових стану морського середовища мають дані (еталони) не схильні до прямої антропогенної дії в місцях, в т.ч. розташованих на територіях спостереження. Окрім цього, місце розташування змін встановлюються з врахуванням гідрометеорологічних і морфологічних особливостей водного середовища, можливих розташувань джерел забруднення, кількості, складу і властивостей шкідливих речовин (при нафтовидобування, розливу нафтопродуктів і так далі), можливих варіантів.

Використання спеціалізованого судна дозволяє здійснити екологічний моніторинг за умови початкового виводу судно в задані точки прилегли до зони розливу але не заходивши в неї, з можливістю проведення автономного спостереження. Це здійснюється завдяки тому, що спеціалізовані судна оснащені гідрохімічними і гідробіологічними лабораторіями для виконання аналізів проб води. По можливості використовуються автоматичні методи відбору проб і автоматичне визначення показників. Таким чином, спеціалізоване судно забезпечує збір даних, аналізуючи їх, здійснення первинну обробку та узагальнення отриманих даних. Спеціалізоване судно також забезпечує також передачу інформації в центр організації моніторингу [5].

У відповідності відбору проб морської води проводиться фізико-хімічний аналіз стану водного середовища і визначення міри, зони розливу в морській акваторії.

Хімічний склад води в пробі, відібраній в створі джерела забруднення, характеризує фонові показники якості води в даній точці. Порівняння фонових показників з показниками якості води в пробі, дозволяє судити про характер і міру забрудненості води під впливом джерел забруднення. Зміна хімічного складу води в пробах, дає можливість оцінити міру впливу отруйливих речовин на морську екосистему.

Залежно від отруйливої речовини (нафти або нафтопродуктів) залежить програма і методика відбору проб, використання тих або інших методів і пристроїв збору даних про розлив.

2. *Етап.* Комплексна оцінка та прогнозування стану морського середовища.

Комплексний оцінка екологічного моніторингу включає надання даних про стан навколишнього природного середовища для визначення фактичного рівня забруднення і попередження про критичні ситуації, що створюються, шкідливі для екосистем [6]. Тому на даному етапі проводиться постійна оцінка умов впливу шкідливих речовин при їх розливі на морську акваторію, а також проводиться оцінка стану і функціональної цілісності екосистеми.

Окрім цього, визначаються умови, коли для необхідного коректування дій в тих випадках, що цільові показники екологічних умов не досягаються, тобто здійснюється вироблення оптимального управлінського рішення по ліквідації наслідків розливу шкідливих речовин [6]. При цьому, основним завданням комплексної оцінки стану є здобуття інформації: для оцінки показників стану і функціональної цілісності екосистеми; виявити причини зміни цих показників і оцінити наслідки таких змін, а також визначити заходи, що коректують, в тих випадках, коли цільові показники екологічних умов не досягаються; створити передумови для визначення заходів по локалізації і ліквідації виникаючих негативних ситуацій пов'язаних з порушенням морської екосистеми.

Окрім цього, здійснюється прогнозування зміни морської екосистеми під впливом, що управляє, при виборі того або іншого інструментарію ліквідації наслідків.

При цьому, вибір складу контрольованих показників повинен зважати на специфіку шкідливої речовини (нафти або нафтопродукту) ґрунтуючись на аналізі нормативної документації і науково-методичної літератури. Це дозволить здійснити контроль на джерелах дії на морське місце існування; контроль суміжної території поширення

шкідливих речовин; прогнозування ділянок забруднення.

Необхідно також враховувати: склад контрольованих показників, частота спостережень і кількість точок контролю, які коректуються залежно від інтенсивності техногенного навантаження. Збільшення розмірів площі впливу шкідливих отруйливих речовин (нафти або нафтопродуктів) що здійснюють посилення техногенної дії, як правило, викликає необхідність розширення зони спостереження і збільшення частоти спостережень. Зниження техногенного навантаження, підтвержене фактичними натурними вимірами, спричиняє за собою скорочення кількості точок спостереження з подальшим веденням моніторингу на тих ділянках, де були зафіксовані негативні зміни. При цьому, організація системи збору і передачі даних про забруднюючих речовин тих, що впливають на морську екосистему дозволить приймати обґрунтовані управлінські рішення по зниженню негативних дій на акваторію моря.

3. *Етап.* Ліквідація наслідків антропогенного впливу при розливах отруючих речовин розглядається в роботі [7], в якій на основі прикладу представлено фізико-хімічні властивості нафти і нафтопродуктів для організації основних етапів і подальшої ліквідації розливів в морській акваторії.

Особливістю ліквідації наслідків є визначення фізичних і хімічних властивостей речовин, що впливають на морське середовище, а також процентне співвідношення різних фракцій окремих класів. Це дає можливість визначити міру впливу на морську воду.

Висновки

Враховуючи вищевикладене можна зробити висновок про можливість екологічного моніторингу в акваторії спеціалізованим судном, а також використанні його для локалізації і ліквідації розливу шкідливих речовин або нафти (нафтопродуктів) на

основі запропонованої методики що представлена в даній статті.

Так, в матеріалі наведені дослідження і представлені результати основних етапів екологічного моніторингу при розливах в морському середовищі різних речовин.

Список літератури

1. Боголюбов В.М. Моніторинг довкілля / [В.М. Боголюбов, М.О. Клименко, В.Б. Мокін та ін.] за редакцією В.М. Боголюбов і Т.А. Сафронова. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 530 с.
2. Израэль Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
3. Афанасьев Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды / Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин. – М.: МНЭПУ, 1998. – 368 с.
4. Якунина И.В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие / И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
5. Поконова Ю.В. Нефть и нефтепродукты / Ю.В. Поконова. – СПб.: АНО НПО «Мир и семья», 2003. – 904 с.
6. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
7. Теут В.М. Аналіз фізико-хімічних властивостей нафти і нафтопродуктів, що впливають на водне середовище при розливі в морських акваторіях: постановка завдання і шляхи його рішення / В.М. Теут // Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2016. – Вип. 3 (39). – С. 129–131.

Надійшла до редколегії 23.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СУДНА

В.М. Теут

В статье представлены результаты анализа литературы связанные с созданием систем экологического мониторинга морской поверхности и решается задача использования экологического судна при проведении экологического наблюдения в условиях разлива вредных веществ или нефти (нефтепродуктов).

Ключевые слова: анализ, экологический мониторинг, морская акватория, влияние, специализированное судно

METHOD FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF SEA AQUATORIUM BY SPECIALIZED VESSELS

V.M. Teut

This article presents results of literature analysis concerning creation of sea surface environmental monitoring systems. The problem is solved by using an ecological vessel during environmental monitoring under conditions of hazardous substances or oil (oil products) spills.

Keywords: analysis, environmental monitoring, sea aquatorium, influence, specialized vessel.

УДК 355.588:347.132.15

М.М. Хомік¹, О.В. Барабаш²¹ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ОЦІНКА ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Розглядається можливість оцінки ризиків професійної діяльності та управління такими ризиками під час спеціальних та специфічних дій військ (сил), у тому числі під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Наведені деякі підходи, принципи та поданий методичний апарат щодо оцінки та управління такими ризиками в визначених умовах. Результати дослідження можуть бути використані при застосуванні військ (сил) Збройних Сил України, як складової сил єдиної державної системи цивільного захисту населення і території під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та здійснення управління техногенною безпекою.

Ключові слова: ризик, оцінка ризику, управління ризиками, ліквідація наслідків, надзвичайні ситуації.

Вступ

Наука про ризик та його оцінку сформувалася в останній чверті ХХ ст., і вона, безумовно, може стати однією з пануючих і системоутворюючих при вирішенні багатьох проблем у різних галузях науки ХХІ сторіччя.

Практична спрямованість і науковий інтерес зазначеної теорії, безумовно, перш за все, був пов'язаний з аварією на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС) та процесами ліквідацією наслідків цієї аварії [1].

Причина цього – місце і роль, які посідають пов'язані з ризиком проблеми. Науковці, які досліджують цю галузь вважають, що будь-яка діяльність, яка тим чи іншим чином пов'язана з ризиком, повинна враховувати та узгоджуватися з потребами людини та суспільства в цілому.

Найважливіша особливість науки про ризик – її міждисциплінарний характер з найтіснішою взаємодією багатьох наук, в тому числі наук воєнного спрямування.

Тому дослідження ризиків у військовій сфері є актуальною проблемою, якій присвячена ця наукова праця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В провідних країнах світу постійно зростає фінансування наукових досліджень в області аналізу і оцінки ризику. За кордоном вже сформовано середовище фахівців нового напрямку науки – експертів з ризику.

На жаль в Україні загалом, та в Збройних Силах, зокрема, питання оцінки ризику залишаються недослідженими [2].

В світі сформовані наукові напрями дослідження ризиків, а саме: на транспорті, в промисло-

вості, екологічні, ризиків виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, ризику виконання спеціальних завдань, економічних та інших. Поряд з вивченням ризиків розвинулося дослідження проблематики безпечності професійної діяльності, ризику, зокрема і під час виконання завдань в умовах надзвичайних ситуацій техногенного, природного і воєнного характеру.

Слід згадати, що органи військового управління збройних сил СРСР, та їх складової – органи військового управління військами цивільної оборони, під час планування та здійснення ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС) в 1986-1991 роках, зіткнулися з проблемою безпеки при виконанні спеціальних завдань, визначення припустимого рівня опромінення та планування спеціальних робіт в умовах радіаційної небезпеки та інших техногенних ризиків [3].

В той же час керівництво інтуїтивно шукало підходи щодо управління ризиками під час ліквідації наслідків аварії на АЕС. Такі підходи були знайдені.

По-перше, це постійний радіаційний контроль опромінення особового складу, по-друге – накопичення даних такого контролю, по-третє – медичний контроль стану крові. Все це стало провідником оцінки та управління ризиками при застосуванні сил під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

На жаль, отриманий досвід управління ризиками під час ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС, з розпадом СРСР, не дістав логічного свого завершення.

Проте, цей досвід був сповна використаний фахівцями провідних країн світу, де на західних

наукових майданчиках він перетворився у частину науки про ризик.

Так, одним з основних показників, при оцінці впливу на організацію спеціальних робіт, що виконувалися військовослужбовцями сил самооборони Японії під час ліквідації наслідків аварії на реакторах атомної електростанції "Фокусіма-1", був ризик професійної діяльності [4].

Отже, оцінка ризиків професійної діяльності, тобто ризиків, які притаманні конкретній галузі діяльності буде цікавою і для Збройних Сил України. Причому, управління такими ризиками повинно стати одним з основних показників для керівництва військами (силами) в мирний час, під час спеціальних та специфічних дій військ (сил).

Слід зазначити, що за інформацією авторів, в Збройних Силах України не проводилися і не проводяться дослідження, які пов'язані з оцінкою ризиків професійної діяльності та управління такими ризиками під час спеціальних та специфічних дій військ (сил), у тому числі під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Наведене підтверджує актуальність та перспективність досліджень проблематики аналізу та оцінки ризиків, управління ними у воєнній і військовій сфері.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є визначення можливості і доцільності використання апарату оцінки ризиків професійної діяльності та управління такими ризиками під час здійснення Збройними Силами спеціальних та специфічних дій військ (сил) в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі на території проведення антитерористичної операції.

Задачею дослідження є обґрунтування апарату оцінки ризиків і управління ними при плануванні та управлінні застосуванням сил єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру під час здійснення управління техногенною безпекою.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідження оцінки ризиків професійної діяльності під час здійснення збройними силами спеціальних та специфічних дій військ (сил) в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі в регіоні проведення антитерористичної операції.

2. Дослідження управління ризиками при плануванні та управлінні застосуванням сил єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру під час здійснення управління техногенною безпекою.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо апарат оцінки ризику. Ризик, як правило, оцінюється імовірнісним методом [2, 5].

Для оцінки ризику обираються відповідні кількісні показники, які дозволяють забезпечити порівняння стану ризику під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру між формуваннями, видами задіяних сил, а також між категоріями військовослужбовців.

Сам ризик $R_0(\Delta t)$ є імовірністю настання визначених небезпечних подій за інтервал часу Δt .

В цьому випадку $R_0(\Delta t)$ виступає, як показник, що є зручним для порівняння різних подій для одного або різних об'єктів (суб'єктів) у різних для них умовах функціонування (діяльності).

Середній індивідуальний ризик, наприклад, небезпечного випадку для учасника, у зв'язку з виконанням ним професійних обов'язків оцінюється виразом:

$$R_0(\Delta t) = \frac{d_c}{n}, \quad (1)$$

де d_c – середня кількість небезпечних випадків за визначений час з визначеної причини;

n – чисельність групи, на яку поширюється оцінка (у нашому випадку – війська (сили) залучені до дій з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру).

Прогноз індивідуального ризику $R_{0P}(\Delta t)$ можна здійснити шляхом встановлення взаємозв'язку середнього індивідуального ризику $R_0(\Delta t)$ із частотою небезпечних подій:

$$R_{0P}(\Delta t) = \frac{\alpha(\Delta t) \cdot d_c}{n}, \quad (2)$$

де $\alpha(\Delta t)$ – математичне сподівання числа небезпечних подій на території можливого знаходження;

n – чисельність групи, на яку поширюється прогноз.

Для розрахунку ризику ураження отриманого від різноманітного роду зараження/забруднення з огляду на лінійний, для малих і середніх доз, взаємозв'язок між показниками безпеки (наприклад дозою) і викликаним ефектом може бути використаний вираз:

$$R_{0P}(D) = F_R \cdot D = F_R \cdot c \cdot v \cdot t, \quad (3)$$

де c – концентрація (доза) небезпечного фактору надзвичайної ситуації ($мг/літр$, $грам/м^3$, P , $Зв$);

v – швидкість його надходження в організм ($літр/хв$, $м^3/доба$, $P/год$, $Зв/год$);

t – тривалість ліквідації надзвичайної ситуації, перебування в зонах забруднення, безпеки та інше ($хв$, $год$, $змiна$, $доба$, $рік$);

F_R – коефіцієнт ризику небезпечного фактору ($мг^{-1}$, $грам^{-1}$, $P^{-1} \cdot 3e^{-1}$).

З використанням виразу (3), можна розрахувати граничну концентрацію (дозу) небезпечного фактору надзвичайної ситуації:

$$c_g = \frac{R_{0g}(D)}{F_R \cdot v \cdot t} \quad (4)$$

Тут $R_{0g}(D)$ – приймає значення граничного ризику.

До того ж, для врахування накопичення ризиків, різних джерел їх надходження слід застосувати вираз [2]:

$$R_{ij} = \sum_z \left(\sum_{j=1}^m R_{zj} \right), \quad (5)$$

де R_{ij} – значення і-го ризику, яке розраховується для терміну участі в ліквідації надзвичайної ситуації j-го небезпечного фактору;

R_{zj} – значення індивідуального ризику, який пов'язаний з присутністю j-их небезпечних факторів в z-ій зоні надзвичайної ситуації;

m – загальна кількість небезпечних факторів.

Кількість небезпечних випадків серед певної групи людей від виняткових подій (та коли відсутня статистика), можна оцінити за допомогою формули $d_c = R_0(\Delta t) \cdot S \cdot P$, моделюючи різні ситуації за допомогою методів імітаційного моделювання [6].

Тут S – середня площа зони ураження при реалізації небезпечної події ($км^2$); P – середня щільність укомплектованих відповідним чином військ (сил) в районі можливих небезпечних подій ($осіб/км^2$).

Таким чином, можна встановити розподіл ризиків по видах військ (сил), об'єднанням, типам професійної діяльності тощо.

Коллективний ризик оцінюється числом d_c – це число випадків у результаті дії певного небезпечного фактора надзвичайної ситуації або їх сукупності на розглянуту групу (підрозділ, військову частину, формування) військ (сил) їх штатною чисельністю особового складу п.

Аналогічно до вищезазначеного, розрахунок ризику за відсутністю статистичних даних проводиться за відповідними математичними моделями [6].

Разом з цим, слід зазначити, що існує застереження щодо штучного або адміністративного заниження коефіцієнту ризику небезпечного фактору F_R , що може привести до неадекватної оцінки ризику. Тільки адекватна оцінка ризиків, повне врахування всіх їх складових дозволять отримати пов-

ну картину та планувати застосування військ (сил) під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі в регіоні проведення антитерористичної операції.

Крім того, наведені підходи дозволяють (маючи на “руках” соціальні дослідження) легко встановити, яку кількість небезпечних випадків “виримає” суспільна думка, можливості сил, розрахувати потрібний контингент учасників та їх рівень наступного соціального забезпечення. І головне – обґрунтовано пояснити суспільству особистий/груповий внесок і соціальні пільги.

На думку авторів, такий підхід до оцінки ризику професійної діяльності може бути використаний в інтересах формування в Збройних Силах України нової парадигми планування та управління військами (силами) в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі під час проведення антитерористичної операції.

А проблему управління ризикам професійної діяльності, зокрема під час військової служби, можна розв'язати шляхом вирішення двох основних задач [7, 8].

Пряма задача – прогнозування ризику для різних категорій, обрання оцінки стану ризикованості в конкретних з'єднаннях, об'єднаннях і видах військ (сил) по реальній статистиці.

Обернена задача – визначення термінів перебування в небезпечних зонах чи районах, варіантів, форм і способів дій та організації заходів захисту, всебічного забезпечення для досягнення прийнятного рівня ризиків.

Причому, під управлінням ризиками варто розуміти систему правових, законодавчих, організаційних, технічних та технологічних заходів, що проводяться органами управління по розробці, обґрунтуванню і реалізації програм заходів, спрямованих забезпечити зниження ризиків й досягнення відповідного рівня ризику для військ (сил).

Іншими словами управління ризиком – це діяльність по зниженню ризику до рівня, який суспільство вважає прийнятним. За іноземними джерелами шкала ризику має показники, що наведені у табл. 1 [4].

В провідних країнах світу середньою величиною прийнятного ризику в професійній сфері вважається величина на рівні $2,5 \cdot 10^{-4}$ летальних випадків на рік [1, 3].

Причому вважається, що прийнятний (допустимий) ризик $R_0(\Delta t)^{ДОП}$ – це така мінімальна величина ризику, яка може бути досягнута по технічним, економічним і технологічним можливостям та допустимо обґрунтована виходячи із соціально-економічних міркувань. Тобто – це компроміс між рівнем безпеки і можливостями його досягнення.

Класифікація умов професійної діяльності

Умови діяльності	Рівень ризику $R_0(\Delta t)$ летального випадку в рік	Оцінка прийнятності ризику
Безпечні	$\leq 10^{-4}$	Занадто малий
Відносно безпечні	$10^{-4} - 10^{-3}$	Відносно невисокий
Небезпечні	$10^{-3} - 10^{-2}$	Високий; необхідні <u>заходи захисту</u>
Особливо небезпечні	$\geq 10^{-2}$	Винятково високий; необхідні <u>заходи захисту</u>

Зрозуміло, що для умов ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру такі показники мають бути в певній мірі збільшені. Так, наприклад, в керівних документах, що регламентували опромінення та зараження особового складу в умовах застосування ядерної та хімічної зброї, визначалося, що для особового складу який може бути задіяний при ліквідації наслідків застосування такої зброї, норма опромінення збільшувалася в 2 рази [9, 10, 11].

Умови професійної діяльності доцільно вважати безпечними, якщо ризик нижче прийняттого, і небезпечним, якщо вище.

В умовах виконання завдань з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, де

$$R_0(\Delta t) \geq R_0(\Delta t)^{\text{ДОП}}$$

може мати місце неприйнятний ризик.

В такому випадку виконання тих чи інших завдань можуть бути відмінені, навіть якщо вони вигідні для суспільства в цілому.

Зрозуміло, що вага таких завдань повинна визначатися в залежності від їх важливості в певній обстановці і на етапі прийняття рішень повинна враховуватися доцільність виконання таких завдань, вживатися заходи захисту або передбачатися відповідні соціальні та економічні компенсатори.

Наприклад, якщо важливість інтересу суспільства занадто висока, то в такому випадку рівень ризику може бути збільшеним. Разом з тим це збільшення має бути "сплачено" суспільством так, щоб це задовольнило б усі сторони.

Будь-яка діяльність в умовах ризику є предметом управління для органу управління, тобто управління ризиками професійної діяльності.

В основу управління ризиками професійної діяльності, у тому числі під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, на погляд авторів, доцільно покласти наступні загальні принципи:

принцип повного урахування – в оцінку ризику доцільно включати усі небезпечні фактори надзвичайних ситуацій природного, техногенного і

воєнного характеру, які тільки можливі при виконанні завдань на визначених території та об'єктах;

принцип переваги – при виборі заходів захисту перевага віддається тим, які забезпечують при однакових витратах найбільше зниження ризику;

принцип доцільності – при виборі функцій, завдань і заходів перевага віддається тим, які забезпечують найменший ризик та найбільшу ефективність (доцільність).

Для ефективного управління безпекою, у тому числі і техногенною, необхідно мати досить розвинуту систему методів аналізу й оцінки небезпеки різних видів професійної діяльності.

В такій постановці питання, вважається за доцільне встановлення Для Збройних Сил України відповідних критеріїв ризику дій військ (сил) в надзвичайних ситуаціях природного і техногенного характеру.

При цьому рівень ризику для окремих категорій військовослужбовців може бути більш високим, ніж для інших видів професійної діяльності в силу свого специфічного призначення.

Але тоді для окремих категорій військовослужбовців, що зазнають підвищеного ризику, повинні бути передбачені соціальні та фінансові компенсації (надбавки до грошового забезпечення, додаткова відпустка, санаторно-курортне обслуговування тощо) додаткових факторів ризику, пов'язаних зі здійсненням важливих для держави функцій, наприклад, під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Підсумовуючи, слід зазначити, що ризик при виконанні обов'язків військової служби відноситься до професійного, тобто вимушеному ризику. Тому держава повинна нести відповідальність за формування підходів щодо управління ризиками у різних видах діяльності.

Викладені погляди щодо оцінки ризиків й управління ними дозволяють формувати науково-обґрунтовані рекомендації та пропонувати практичні заходи щодо досягнення прийняттого рівня ризику професійної діяльності в умовах ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі при застосуванні у зазначених ситуаціях сил

єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій.

Висновки

1. Доведено доцільність використання апарату оцінки ризиків професійної діяльності та управління такими ризиками під час здійснення збройними силами спеціальних та специфічних дій військ (сил) в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, у тому числі в регіоні проведення антитерористичної операції.

2. Запропоновані основні принципи управління ризиками професійної діяльності при плануванні та управлінні застосуванням сил єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру під час здійснення управління техногенною безпекою.

3. Наведено підходи щодо розв'язання проблеми управління ризиками професійної діяльності в умовах надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Список літератури

1. Акимов В.А. Природные и техногенные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев – М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", 2001. – 344 с.
2. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, С.О. Яковлев. – К.: Інститут проблем національної безпеки РНБО, 2008. – 160 с.
3. Дьяченко А.А. Опыт ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы / А.А. Дьяченко. – М.: Знание. – 1998. – 385 с.
4. Авария на АЭС «Фукусима – 1»: Опыт реагирования и уроки / Под общ. ред. член-корреспондента РАН Л.А. Большакова // Институт проблем безопасного развития атомной энергетики. – М.: Наука. – 2013. – 246 с.

5. Александровская Л.Н. Методологические основы расчета и нормирования рисков в задачах обеспечения безопасности / Л.Н. Александровская. – М.: Мир авионики. – 2005. – № 4. – С. 40 – 45.

6. Система підтримки прийняття рішення (система комплексної оцінки ризиків): свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір: комп'ютерна програма, №61481. Україна / В. В. Биченков, А. І. Сбітнєв, М. М. Хомік. Заявка від 3.07.2015. – 12 с.

7. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій: [у 5 т.] / Під заг. ред. В.В. Могильниченка // Всеукраїнський НДІ цивільного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. – К.: МНС України. – Т. 1: Техногенна і природна небезпека. – 2007. – 636 с.

8. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій: [у 5 т.] / під заг. ред. В.В. Могильниченка // Всеукраїнський НДІ цивільного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. – К.: МНС України. – Т. 2: Управління в надзвичайних ситуаціях. – 2007. – 368 с.

9. Методика выявления и оценки радиационной обстановки при разрушениях (авариях) атомных электростанций. – М.: Издание ГШ ВС СССР, 1989. – 118 с.

10. Методика выявления и оценки химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, содержащих сильнодействующие ядовитые вещества. – М.: Издание ГШ ВС СССР, 1989. – 116 с.

11. Блекот О.М. Методика оцінки обстановки при аваріях на потенційно небезпечних об'єктах та екологічної обстановки на території військового об'єкту / О.М. Блекот, О.В. Дзежужулей // Національна академія оборони України. – К.: 2001. – 164 с.

Надійшла до редколегії 15.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. Є.В. Гаврилко, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИМЕНЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ ВО ВРЕМЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Н.Н. Хомик, О.В. Барабаш

Рассматривается возможность оценки рисков профессиональной деятельности и управление такими рисками во время специальных и специфических действий войск (сил), в том числе во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Приведены некоторые подходы, принципы и дан методический аппарат оценки и управления такими рисками в определенных условиях. Результаты исследований могут быть использованы при применении Вооруженных Сил Украины, как составной части сил Единой государственной системы гражданской защиты населения и территорий во время осуществления ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и управления техногенной безопасностью.

Ключевые слова: риск, оценка риска, управление рисками, ликвидация последствий, чрезвычайные ситуации.

RISK ESTIMATION AND RISK MANAGEMENT OF APPLICATION OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE DURING LIQUIDATION THE CONSEQUENCES OF EMERGENCIES

N.N. Chomik, O.V. Barabash

The article discusses the possibility of evaluating the risks of professional activities, as well as risk management during the special and specific actions of the troops during the liquidation of consequences of emergency situations of natural and technogenic character. It presents some of the approaches, principles and methodological apparatus assess and manage such risks in certain circumstances. The research results can be used in the application of the Armed Forces of Ukraine, as part of the forces of the Unified state system of civil protection of population and territories in the implementation of disaster recovery and technogenic safety management.

Keywords: risk, estimation of risk, management risks, liquidation of consequences, emergencies.

Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 621.9.019

В.М. Бурдейна, О.М. Хорошилов, А.Р. Тріщ

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗМІРІВ КООРДИНОВАНИХ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

У статті проведений аналіз точності виготовлення та нормативного забезпечення розмірів координованих отворів малого діаметру. Побудовані графіки зміни полів розсіювання з урахуванням залежності від елементів оснастки, а саме діаметру матеріалу, вильоту інструменту та матеріалу інструменту. Розроблена система нормованих полів розсіювання точності розмірів координованих отворів у вигляді таблиць. Проаналізована зміна полів розсіювання точності розмірів координованих отворів з урахуванням впливу питомих факторів при обробці заготовок.

Ключові слова: точність, відхилення, координовані отвори, поле розсіювання, інструмент.

Вступ

Машинобудування та нормативне забезпечення цієї галузі на сьогоднішньому етапі розвитку країни служить основою матеріальної бази суспільства. Розвитку цієї галузі завжди надавалося і надається першорядне значення. В даний час успішно впроваджуються обробка матеріалів на основі високих технологій, прецизійного обладнання і надточної вимірювальної техніки.

У машинобудуванні показники якості виробів тісно пов'язані з точністю обробки деталей машин. Основні показники, що отримані при обробці (розмір, форма і розташування елементарних поверхонь) визначають фактичні зазори і натяги в з'єднаннях деталей машин, отже, технічні параметри продукції, що впливають на її якість, надійність і економічні показники виробництва і експлуатації. Застосування спеціального технологічного обладнання, високоточних засобів вимірювальної техніки, спеціального ріжучого інструменту, високотехнологічного та багатоопераційного технологічного процесу і висока кваліфікація робітників необхідна для досягнення такого рівня якості комплектуючих і деталей.

Постановка проблеми. Однією з найбільш складною технологічною операцією є виготовлення координованих отворів. В технічній літературі термін «координований отвір» не має чіткого визначення. Тому в роботі під координованими отворами будемо розуміти отвори з заданими координатами їх розташування відносно базової поверхні і між собою [1].

Особливу увагу слід приділити нормуванню виготовлення глибоких координованих отворів, так як крім технологічної системи (верстат, пристосування) впливають безліч інших факторів, адже для їх виготовлення застосовується складне як багатопозиційне

обладнання так і багатоеlementне оснащення. Складність технології затрудняє забезпечення повної взаємозамінності координат отворів, що являється важливим показником якості деталей. Адже взаємозамінність – головна умова складання деталей у вузли, забезпечення уніфікації та агрегативання.

В таких галузях як машинобудування, приладобудування, автомобілебудування, сільгоспмашинобудування, верстатобудування, авіаційної промисловості актуально виготовлення координованих глибоких отворів. Основними деталями, в яких є зазначені отвори, є деталі паливної апаратури, корпусу, вали, осі, втулки приладів і двигунів. Відповідно до існуючих статистичних даних, частка отворів \varnothing від 1 мм до 6 мм, у яких відношення глибини до діаметру отворів більше трьох ($l > 3d$), складає в середньому 38%.

Всі дослідження, що проводилися в цьому напрямку [2, 5] стосувалися точності форми та відхилення осей отворів від співвісності при розточці. Причому діаметральні розміри отворів перевищували 40 мм. Однак, дослідження та нормативне забезпечення точності координованих розмірів, а саме розмірів від бази, міжосьових розмірів і позиційних відхилень осей отворів малого діаметру при обробці мірним інструментом (свердлами і розвіртками) більш актуальні. На сьогоднішній день не існує нормативних документів з оцінювання якості глибоких координованих отворів, і тим більше, для малих діаметрів.

Метою роботи є аналіз та комплексне дослідження нормативного забезпечення точності розмірів координованих отворів та розроблення системи нормованих полів розсіювання точності розмірів координованих отворів з метою забезпечення їх взаємозамінності з урахуванням впливу різних елементів технологічної оснастки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За часів Радянського Союзу роботи по вдосконаленню способів обробки глибоких отворів проводилися на багатьох підприємствах країни. В цей час були створені оригінальні конструкції інструменту і ефективні технологічні процеси. Серед найбільш активних дослідників можуть бути відмічені І.С. Веремейчук [3], Т.І. Кузнецова [4], М.А. Мінков [6], В.Н. Подураєв [7-10], М.В. Потягайло [11], Л.П. Телятников [12], Н.Д. Троїцький [13], С.А. Черничкин [14] та ін.

В цей час в зарубіжних країнах створена спеціальна асоціація (ВТА), що об'єднує фірми більше 10 країн світу (США, Німеччини та ін.), володіє монополією в області розробки, виготовлення і освоєння у виробництві спеціального устаткування, оснащення і технології для обробки глибоких отворів.

Публікації з питань обробки глибоких отворів за цей час як у вітчизняній, так і в зарубіжній технічній літературі порівняно нечисленні і представлені в основному статтями в періодичних виданнях, декількома монографіями по окремих способах обробки [3, 13, 14] і двома невеликими за об'ємом книгами вітчизняних авторів - М.В. Потягайло [11] і М.А. Мінкова [6], що містять огляд основних способів обробки глибоких отворів. Проте багато з цих робіт видані давно і не відповідають вимогам сучасних технологій.

Роботи Г.И. Меланамеда, А.И. Дашенко, А.П. Белоусова присвячена питанню прогнозування точності механічної обробки на агрегатних верстатах на підставі статистичного аналізу їх різних груп [15], вони пропонують робити моделювання точності обробки деталей на електронно-обчислюваних машинах (ЕОМ), що дозволяє уточнити закони і параметри розподілу сумарної похибки. Пропонував розробити норми на геометричну точність, жорсткість і температурні деформації для нормалізованих вузлів і компонентів прецизійних агрегатно-розточувальних верстатів у своїх роботах В.А. Круглов [15]. Вплив геометричних похибок агрегатних верстатів на величину позиційних відхилень осей розточених отворів досліджував та вивчав Ю.А. Старостинський [16].

Дослідження А.М. Дальського [17], В.С. Корсакова [18], В.В. Іванова [19] показали, що на складальних операціях досягається задана точність монтажу вузлів і металорізального верстата в цілому. У роботах А.Г. Косилової [20] і Е.Ф. Никодимова [21] стосовно автоматичних ліній і агрегатних верстатів приділялася значна увага величині неспівпадання осей інструментальної наладки і кондукторної втулки. В цих дослідження величина неспівпадання осей не встановлювалася залежно від необхідної точності обробки деталі тому що не розглядалася з урахуванням взаємодії складових параметрів. Питаннями оптимізації точності взаємної орієнтації вузлів агрегатних верстатів для агрегатно-розточувальних верстатів з консольною схемою розглядав Ю.А. Старо-

стинецький [22]. Тільки в цих дослідженнях для агрегатних верстатів середніх габаритів [24, 25] розглянуті методики визначення допуску на взаємну орієнтацію залежно від точності обробки координованих отворів в деталях.

У роботах М.М. Пичикяна [26] для розточувальних, В.В. Огородникова і Ш. Нурієва [15] для свердловальних позицій розглянуті деякі питання побудови оптимальних схем обробки на агрегатних верстатах. Слід зауважити, що в цих роботах також не представлені імовірнісні розрахунки очікуваної точності обробки координованих отворів і не приведені експериментальні перевірки отриманих результатів.

Літературний огляд показав, що питання точності обробки, а також його на агрегатних верстатах вивчається в нашій країні і за кордоном, проте питання нормативного забезпечення обґрунтованого вибору прогресивного технологічного оснащення агрегатних верстатів для рентабельного забезпечення точності розмірів при обробці взаємозв'язаних груп отворів досі не вирішені.

Система нормативних значень розмірів полів розсіювання координованих отворів

Сучасне машинобудування вимагає вдосконалення існуючих або створення нових технологічних процесів. До рішення цієї задачі можна віднести невирішене завдання оцінювання якості високоточних координованих отворів ще на етапі технологічної підготовки виробництва. Технолог повинен знати можливості технологічної системи, навіть тоді, коли деталь ще не виготовлена. Очевидно, що це завдання помітно спрощується, якщо для цього вдається побудувати деяку математичну модель.

Модель можна спробувати побудувати на основі знань механізмів явищ, що відбуваються в технологічній системі при свердлінні координованих отворів, тобто теоретичним шляхом. Як зазначалося раніше механізми більшості явищ в процесі свердління, до теперішнього часу вивчені не повністю. Проте, дане завдання є стандартним і вирішується при неповному знанні (а іноді і взагалі при незнанні) механізмів явищ, що протікають в процесі свердління. І спосіб рішення цілком визначений - емпіричний, експериментальний. Тобто, при неповному знанні або незнанні механізму явищ треба побудувати механічну модель і з її допомогою аналізувати зв'язуючи властивості готового виробу з усіма змінними, від яких ці властивості залежать.

Оскільки питання обґрунтованого призначення елементів технологічного оснащення для надійного забезпечення точності обробки координованих отворів досі не вирішені, був проведений комплекс експериментальних і теоретичних досліджень на основі повного факторного експерименту (ПФЕ 2³).

Оброблялися заготовки «фланець». із сталі 45, сіро-го чавуну СЧ15 та алюмінієвого сплаву АКЧ свердлами діаметрами $\varnothing 1$ мм до $\varnothing 2$ мм У кожній точці плану експерименту обсяг випробувань був прийнятий рівним $N = 50$ шт [27].

У загальному вигляді була прийнята наступна функціональна залежність для визначення практичних полів розсіювання від розміру до бази (ω_B) або позиційного відхилення (ω_0):

$$\omega_{B,0} = f(d_i, HB, \ell_i), \quad (1)$$

де d_i – діаметр отвору, мм; HB – твердість матеріалу, МПа; ℓ_i – вильот інструменту за торць шпинделя мм.

В системах без направлення ріжучого інструмента про обробці заготовок для «фланця» важливо знати поле розсіювання від бази. Тому в якості незалежних змінних ($I = 1, 2, 3$) прийняті логарифми d_i , HB і ℓ_i . В результаті подальшої математичної обробки була отримана емпіричні залежності для розрахунку практичних полів розсіювання від бази деталі «фланець»:

$$\omega_B = 19,6 \frac{HB^{0,36} \cdot \ell_i^{0,46}}{d_i^{0,45} \cdot \lg HB - 1,289}. \quad (2)$$

Для нормативного забезпечення точності координованих отворів використовуючі формулу (2) побудовані графіки зміни полів розсіювання з урахуванням залежності від елементів оснастки. Ці графіки представлені на рис. 1-4.



Рис. 1. Залежності поля розсіювання ω_B від довжини свердла та твердості матеріалу



Рис. 2. Залежності поля розсіювання ω_B від діаметру свердла та твердості матеріалу



Рис. 3. Залежності поля розсіювання ω_0 від довжини свердла та твердості матеріалу

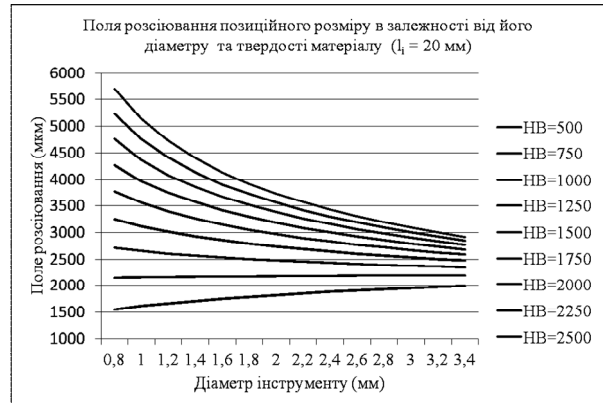


Рис. 4. Залежності поля розсіювання ω_0 від діаметру свердла та твердості матеріалу

Далі для повного відображення нормативного забезпечення на етапі проектування та поставки продукції на виробництво доцільно, використовуючі формули залежності (1) – (2), представити поля розсіювання для різних варіантів діаметрів різального інструменту, довжин вильоту інструменту та для різної твердості матеріалу у вигляді таблиць. Табл. 1-6 являються довідковим матеріалом для забезпечення взаємозамінності глибоких координованих отворів та основою для розробки проекту стандарту.

Висновок

В цілому огляд опублікованих робіт дозволяє зробити висновок про важливість наукового і прикладного значення методів оцінювання якості та нормативного забезпечення точності розмірів координованих отворів особливо це стосується отворів малого діаметру. Проаналізувавши графіки зміни полів розсіювання можна сказати, що із збільшенням вильоту різального інструменту, поле розсіювання збільшується. Також поле розсіювання збільшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність має майже лінійний характер. Також можна зробити висновок, що із збільшенням діаметру інструменту, тобто діаметру отвору, поле розсіювання зменшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність значно більша при малих діаметрах, а при діаметрах, більших 2 мм., має майже лінійний характер.

Таблиця 1

Величини полів розсіювання
координованих розмірів від отвору до бази
в залежності від його діаметру та твердості
матеріалу при глибині отвору $l_1 = 8$ мм.

HV	Діаметр інструменту (отвору)					
	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
500	470	478	484	490	495	499
750	554	553	552	552	552	551
1000	622	613	607	601	596	592
1250	680	665	652	642	633	625
1500	732	710	692	677	664	654
1750	779	750	727	708	692	679
2000	822	787	759	737	718	701
2250	862	821	789	763	741	722
2500	900	853	816	787	762	741

Таблиця 2

Величини полів розсіювання
координованих розмірів від отвору до бази
в залежності від його діаметру та твердості
матеріалу при глибині отвору $l_1 = 10$ мм.

HV	Діаметр інструменту (отвору)					
	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
500	521	530	537	543	548	553
750	613	613	612	612	611	611
1000	689	680	672	666	660	656
1250	754	736	723	711	701	693
1500	811	786	767	750	736	724
1750	863	831	806	785	767	752
2000	911	872	842	816	795	777
2250	956	910	874	845	821	800
2500	997	945	905	872	844	821

Таблиця 3

Величини полів розсіювання
координованих позиційних розмірів в залежності від
його довжини та твердості матеріалу ($d_i = 0,8$ мм)

HV	Довжина отвору (l_s мм.)						
	8	10	12	14	16	18	20
500	657	832	1010	1188	1369	1550	1733
750	912	1155	1401	1649	1899	2151	2405
1000	1151	1458	1768	2081	2397	2715	3035
1250	1379	1746	2117	2492	2870	3251	3634
1500	1597	2023	2453	2888	3326	3767	4211
1750	1809	2291	2779	3271	3767	4267	4770
2000	2015	2552	3095	3643	4196	4753	5314
2250	2217	2807	3404	4007	4615	5228	5844
2500	2414	3057	3707	4364	5026	5693	6364

Таблиця 4

Величини полів розсіювання
координованих позиційних розмірів в залежності від
його довжини та твердості матеріалу ($d_i = 1$ мм)

HV	Довжина отвору (l_s мм.)						
	8	10	12	14	16	18	20
500	683	866	1050	1236	1423	1612	1802
750	915	1159	1405	1654	1906	2158	2413
1000	1126	1426	1729	2035	2344	2655	2968
1250	1322	1674	2030	2390	2753	3118	3486
1500	1508	1909	2315	2725	3139	3555	3975
1750	1684	2133	2587	3045	3507	3973	4441
2000	1854	2348	2848	3352	3861	4374	4889
2250	2019	2556	3100	3649	4203	4761	5322
2500	2178	2758	3344	3937	4534	5136	5741

Таблиця 5

Величини полів розсіювання
координованих позиційних розмірів в залежності від
його довжини та твердості матеріалу ($d_i = 1,2$ мм)

HV	Довжина отвору (l_s мм.)						
	8	10	12	14	16	18	20
500	706	894	1084	1276	1469	1664	1860
750	918	1162	1409	1659	1911	2164	2419
1000	1106	1400	1698	1999	2302	2608	2915
1250	1278	1618	1962	2310	2660	3013	3369
1500	1438	1821	2208	2599	2994	3391	3791
1750	1589	2012	2440	2872	3308	3747	4189
2000	1733	2194	2661	3132	3607	4086	4568
2250	1870	2368	2872	3380	3893	4410	4930
2500	2002	2535	3074	3619	4168	4721	5278

Таблиця 6

Величини полів розсіювання
координованих позиційних розмірів в залежності від
його діаметру та твердості матеріалу ($l_i = 8$ мм)

HV	Діаметр отвору (d_s мм.)					
	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
500	657	683	706	725	742	757
750	912	915	918	920	921	923
1000	1151	1126	1106	1089	1075	1062
1250	1379	1322	1278	1241	1211	1184
1500	1597	1508	1438	1382	1334	1294
1750	1809	1684	1589	1512	1449	1395
2000	2015	1854	1733	1636	1556	1489
2250	2217	2019	1870	1753	1657	1577
2500	657	683	706	725	742	757

Маючи таку систему нормованих показників
точності розмірів координованих отворів ще на етапі
проекування можна забезпечити високу якість
кінцевої продукції.

Список літератури

1. Исследование факторов, определяющих точность обработки деталей на агрегатных станках ХПУ. Отчет о НИР. Инв. № 02840041668 УЗПИ/ Э. А. Пащенко, В. А. Чепела, Н. В. Латышев. – Х., 1983. – 90 с.

2. Круглов В.А. Точность формы и точность обрабатываемых отверстий [Текст] / В.А. Круглов. – М.: Станки и инструменты, 1966, № 1.

3. Веремейчук И.С. Сплошное сверление глубоких отверстий. [Текст] / И.С. Веремейчук. – М.: Оборонгиз, 1940. – 290 с.

4. Кузнецова Т.И. О гашении автоколебаний при глубоком сверлении [Текст] / Т.И. Кузнецова, Б.Г. Макаров, Б.А. Немцев // Межвуз. сб.: Колебания и устойчивость механических систем. Вып. 5 / Под ред. Н. Н. Поляхова. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – С. 114-118.

5. Косилова А.Г. Расчет погрешностей координат отверстий при многопереходной обработке на автоматических линиях [Текст] / А.Г. Косилова – М.: Известия ВУЗов, 1971, № 6.
6. Минков М.А. Технология изготовления глубоких и точных отверстий. [Текст] / М.А. Минков. – М.; Л.: Машиностроение, 1965. – 176 с.
7. Подураев В.Н. Влияние геометрических параметров сверла на точность изготовления глубоких отверстий [Текст] / В.Н. Подураев, В.А. Горелов, А.А. Барзов // Изв. вузов. – М.: Машиностроение, 1976. – № 9. – С. 180-183.
8. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. [Текст] / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.
9. Подураев В.Н. О влиянии разнообрабатываемости на точность обработки глубоких отверстий [Текст] / В.Н. Подураев, А.А. Суворов., А. А. Барзов // Изв. вузов. М.: Машиностроение, 1975. – № 10. – С. 141-144.
10. Подураев В.Н. О влиянии скорости резания на уводы при глубоком сверлении/ [Текст] // В.Н. Подураев, А.А. Суворов, А.А. Барзов // Изв. вузов. М.: Машиностроение, 1976. – № 1. – С. 182-184.
11. Потягайло М.В. Изготовление глубоких и точных цилиндрических отверстий. [Текст] / М.В. Потягайло. – М.; Л.: Машигиз, 1947. – 108 с.
12. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием. [Текст] / Под ред. Л.П. Телятникова. – М.: Машиностроение, 1979. – 192 с.
13. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление. / Н.Д. Троицкий. – Л.: Машиностроение, 1971. – 176 с.
14. Черничкин С.А. Кольцевое сверление и обработка глубоких отверстий. [Текст] / С.А. Черничкин. – М.: Машиностроение, 1964. – 239 с.
15. Круглов В.А. Достижение высокой точности обработки на агрегатных станках. / В.А. Круглов // Вестник машиностроения. – 1969. – №1. – С. 52-54.
16. Старостинецкий Ю.А. Повышение точности агрегатных станков. [Текст] / Ю.А. Старостинецкий. – М.: НИИМАШ, 1974. – 88 с.
17. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. [Текст] / А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.
18. Корсаков В.С. Точность механической обработки. [Текст] / В.С. Корсаков. – М.: Машигиз, 1961. – 379 с.
19. Иванов В.В. Точным станкам точные подшипники. [Текст] / В.В. Иванов. – Х.: Прапор, 1967. – 56 с.
20. Справочник технолога по автоматическим линиям. [Текст] / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
21. Никодимов Е.Ф. Исследование влияния основных параметров точности автоматических линий на точность обработки. [Текст] / Е.Ф. Никодимов – Дис. канд. техн. наук. – М.: 1967. – 213с.
22. Старостинецкий Ю.А. Оптимизация требований к точности взаимной ориентации узлов агрегатных станков. [Текст] / Ю.А. Старостинецкий. // Металлорежущие станки и автоматические линии. – М.: НИИМАШ. – 1978. – № 10. – С. 3-8.
23. Иванов В.В. К вопросу точности обработки координированных отверстий на агрегатных станках. [Текст] / В.В.Иванов, Э.А.Пащенко, В.А. Чепела // 3 сб.: Вест. харьк. политехн. ин-та, Машиностроение, вып. 10. – Х.: Вица школа. – 1979 – № 158. – С. 17-21.
24. Чепела В.А. Прогнозирование точности обработки групп отверстий на автоматизированном оборудовании. [Текст] / В.А.Чепела, Э.А. Пащенко, В.В.Иванов. // В кн.: Прогрессивные технологические методы механообработки и сборки: Тез.докл.областн. семинара. – Пенза, 1962. – С. 8.
25. Пащенко Э.А. Обеспечение эффективности конструктивных решений агрегатных станков. [Текст] / Э.А.Пащенко, В.А. Чепела, В.В. Иванов // В кн.: Комплексная механизация и автоматизация основного и вспомогательного производства: Материалы семинара. – М.: МДНТП, 1981. – С. 108-110.
26. Пичикян М.М. Влияние схем построения операций на точность расположения осей отверстий при обработке на агрегатных станках без направляющих втулок. [Текст] / М.М. Пичикян // Вестник машиностроения. – 1981. – №3. – С. 159-160.
27. Бурдейная В.М. Точность координированных размеров при обработке отверстий без направления режущего инструмента [Текст] / В.М. Бурдейная, Э.А. Пащенко. // Машинобудовання: зб. наук. пр. УІПА. – 2013. – № 12. – С. 125-129.

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ КООРДИНИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

В.М. Бурдейная, О.Н. Хорошилов, А.Р. Тришч

В статье проведен анализ точности изготовления и нормативного обеспечения размеров координированных отверстий малого диаметра. Построены графики изменения полей рассеяния с учетом зависимости от элементов оснастки, а именно диаметра материала, вылета инструмента и материала инструмента. Разработана система нормированных полей рассеивания точности координированных размеров отверстий в виде таблиц. Проанализирована смена полей рассеивания точности размеров координированных отверстий с учетом влияния удельных факторов при обработке заготовок.

Ключевые слова: точность, отклонение, координированные отверстия, поле рассеяния, инструмент.

REGULATORY ENSURING THE ACCURACY OF COORDINATED DIMENSIONS OF SMALL HOLES

V.M. Burdeina, O.M. Khoroshilov, A.R. Trishch

In the article the analysis of precision manufacturing and regulatory support coordinated dimensions of holes of small diameter. Graphs of changes in the fields of scattering light of the reliance on snap elements, namely the diameter of the material of the tool overhang and the tool material. Developed a system of normalized field dissipation precision coordinate hole sizes in tables. Analyzed the change of the stray fields of the accuracy of coordinated dimensions of the holes taking into account the influence of specific factors during the machining of workpieces.

Keywords: accuracy, reject, coordinate the holes, stray field, the instrument.

УДК 658.62.018.012

Н.И. Ким, Р.М. Трищ

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАССЕЙВАНИЯ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Предлагается универсальная математическая зависимость между измеренным показателем качества объектов различной природы и его оценкой на безразмерной шкале, которая учитывает только максимально допустимое и минимально допустимое значение показателя качества объекта и может применяться как для оценки качества продукции, так и для оценки качества процессов, услуг и др. Построены гистограммы, вид которых позволяет выдвинуть гипотезы, что при моделировании показателей качества за нормальным законом распределения, закон распределения их оценок на безразмерной шкале близок к закону равной вероятности, а при моделировании показателей качества за законом равной вероятности, близок к закону арксинуса.

Ключевые слова: качество, безразмерные показатели, оценка, продукция, процессы.

Введение

Качество продукции или услуги в последнее время стало новой философией предприятий, которые стремятся к развитию для достижения успеха в конкуренции на рынке. Особенно такая философия актуальна для предприятий Украины во время их стремления на европейский и мировой рынки. Предприятия - лидеры мировой экономики доказали, что для достижения поставленных высоких целей в области качества продукции или услуг важное место занимают разработка и внедрения различных систем управления качеством, которые предполагают постоянный процесс мониторинга, анализа и постоянного управления.

Как известно из высказываний ведущего ученого в области качества У. Шухарта: «Управлять можно только тем, что можно измерить». Так как объекты управления качеством имеют разную природу (изделие, вещество, процесс, явление и др.) и не всегда можно измерить их показатели качества, то приходится их оценивать различными существующими методами. Даже измерение показателя качества является его оценкой, учитывая погрешность прибора для измерения и неопределенность самого процесса измерения. Оценкой качества объектов различной природы занимается наука – квалитетрия, которая дает основу в виде количественных данных (фактов) для управления, ведь одним из принципов систем управления качеством ISO серии 9000 является принцип оценивания, основанного на фактах.

В квалитетрии, при оценке качества различных объектов важное место занимает вид зависимости между измеренным показателем качества и его оценкой на безразмерной шкале, так как показатели качества не всегда распределены равномерно и не всегда имеют линейную математическую зависимость с их оценкой. Но для управления процессом

часто приходится применять статистические методы оценивания и управления, где, в качестве основной информации необходимо знать не закон распределения показателя качества в его единицах измерения, а знать закон распределения его оценок на безразмерной шкале.

Обзор литературы. С классификации методов комплексной оценки качества, наиболее широко используются такие виды зависимостей - линейная, нелинейная, и зависимость, не выражена в явном виде. В рамках данной статьи остановимся на нелинейных зависимостях, так как они соответствуют идеологии процесса оценки качества и могут быть универсальными для оценки объектов различной природы.

Разработка объективных математических зависимостей - трудоемкое и актуальная задача, которая требует глубокого и всестороннего исследования объекта, чем можно объяснить то, что в большинстве существующих методиках оценки качества используются достаточно приближенные формулы, которые слабо отражают главные идеологические принципы процесса оценки качества [1, 2].

В методике Харрингтона математическая зависимость оценки показателя качества определяется экспоненциальной функцией, которая соответствует распределению экстремальных значений в выборках случайных величин. Главным недостатком при применении такого вида функций является то, что используется однотипный вид зависимости для оценки разнородных показателей качества.

В работах [4 - 6] в качестве зависимости для перевода разноразмерных показателей качества в безразмерную величину брали за основу тоже экспоненциальный вид зависимости, и, используя принцип ее симметрии, получали пять зависимостей, что давало возможность выбора, сделать оценку жесткой, или ослабить ее.

Авторами [7, 8] для оцінки систем управління якістю підприємств і її процесів були використані такі види залежностей, який учивав тільки дійсне (вимірне значення показателя якості процесу), його мінімально - допустиме і максимально - допустиме значення і параметр форми, змінення якого дозволяло зробити оцінку жорсткої, або ослабити її. Так, наприклад, якщо параметр форми змінювати від 0,1 до 1 з кроком 0,1, то функції будуть вигнутими вгору. Якщо параметр форми змінювати від одиниці до десяти з кроком 1, то функції будуть вигнутими вниз. Такі функції успішно застосовувалися для оцінювання об'єктів різної природи із-за їх простоти, але недоліком є секрет вибору коефіцієнта форми.

Незважаючи на те, що існують різні функції для отримання оцінок якості різних об'єктів оцінювання, поки немає досліджень закономірностей, отриманих оцінок, як випадкової величини, що є умовою для застосування статистичних методів оцінювання і управління якістю. Тому завданням даної статті є знаходження універсальної математичної залежності між показателями якості об'єкта і їх оцінкою на безрозмірній шкалі і вивчення закону їх розподілу, як випадкової величини.

Основной материал

Проведя аналіз існуючих нелінійних залежностей між вимірним показателем якості і його оцінкою на безрозмірній шкалі і враховуючи їх перераховані недоліки пропонується новий вид залежності, який позбавлений перерахованих недоліків і має вигляд:

$$f(q) = 1 / (1 + ab^{-kq}), \quad (1)$$

де коефіцієнти a і b знаходяться із умов:

$$f(Q_{\min}) = A, \quad f(Q_{\max}) = B,$$

де (Q_{\min}) – мінімально – допустиме значення показателя якості; (Q_{\max}) – максимально - допустиме значення показателя якості. Отсюда:

$$b = b_1^{1/((Q_{\min} - Q_{\max})k)},$$

де $b_1 = (1 - B)A / ((1 - A)B)$.

Коефіцієнт a знаходиться таким чином:

$$a = ((1 - A) / A) \cdot b^{kQ_{\min}}.$$

Залежність (1) має точку перегибу при

$$q_{\text{пер}} = \ln a / (k \ln b)$$

Параметр k впливає на зсув точки перегибу вздовж осі ОХ. Змінюючи k , можна керувати вигнутістю функції (1) і, таким чином, отримувати різні оцінки при однакових результатах вимірювань показателя якості.

В графічному вигляді залежність (1) при $k = 1$, показана на рис. 1.

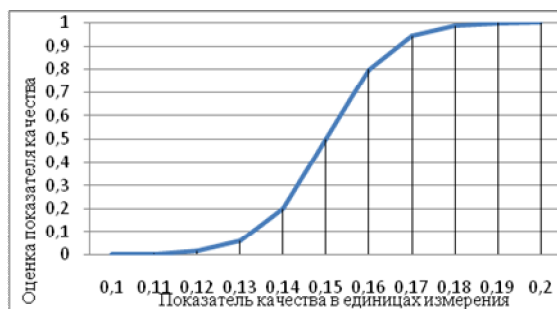


Рис. 1. Вид залежності (1)

На рис. 1 показаний показник якості вибраний умовно, який змінюється від 0,1 до 0,2 з кроком 0,01, щоб наочно показати вигляд залежності (1). Незалежно від одиниць вимірювань і від класів значень показателя якості на осі ОХ, вигляд і форма залежності не будуть змінюватися. До зміни приведе змінення параметра форми – k . Як вибрати даний параметр, це мета подальших досліджень.

Із рис. 1 видно, що залежність (1) нелінійна, відповідно значення на осі ОУ будуть розподілені з іншою функцією густоти, ніж змінювані значення показателя якості на осі ОХ. Для перевірки, який вигляд має густина розподілу оцінок показателя якості застосовували метод Монте-Карло. Кількість випадкових величин приймали $n=200$. Результати моделювання отримані наступні. При нормальному законі розподілу випадкових величин показателя якості гістограма розподілу їх оцінок на безрозмірній шкалі показана на рис. 2.

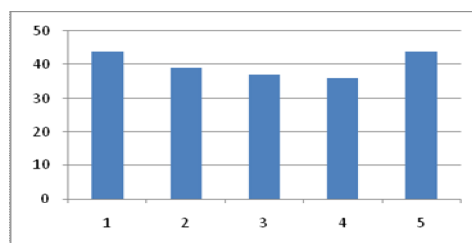


Рис. 2. Гістограма розподілу оцінок показателя якості, смодельованого за нормальним законом розподілу

При законі розподілу рівної ймовірності випадкових величин показателя якості гістограма розподілу їх оцінок на безрозмірній шкалі показана на рис. 3.

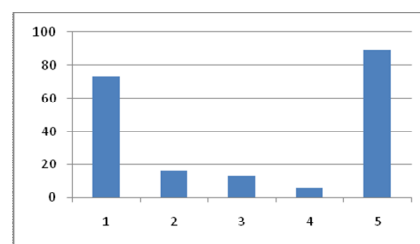


Рис. 3. Гістограма розподілу оцінок показателя якості, смодельованого за рівномірним законом

Анализ гистограмм позволяет выдвинуть гипотезы, что при моделировании показателей качества методом Монте-Кардоза нормальным законом распределения, закон распределения их оценок на безразмерной шкале близок к закону равной вероятности, а при моделировании показателей качества за законом равной вероятности, близок к закону арксинуса.

Доказывать выдвинутые гипотезы можно разными способами. Один из способов основан на математическом анализе, в основе которого лежит подбор подходящей функции для описания эмпирического распределения. Для определения того, насколько правильно эта функция описывает опытное распределение, используются различные критерии согласия (Пирсона, Колмогорова, Мизеса и др.). Второй подход основан на том, что каждому теоретическому закону распределения соответствует вполне определенные условия функционирования технологических процессов. Зная эти условия, можно найти соответствующие им законы распределения.

Еще один способ заключается в определении типа кривой Пирсона, к которым относится распределение таких величин. Как известно, Распределение Пирсона полностью определяется первыми четырьмя моментами. Поэтому достаточно найти коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса, чтобы определить тип этой кривой. При больших выборках вычисление оценок b_1 и b_2 не составляет труда:

$$\sqrt{b_1} = \mu_3^* / (\mu_2^*)^{3/2}; \quad b_2 = \mu_4^* / (\mu_2^*)^2,$$

$$\mu_k^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^k,$$

где \bar{X} – выборочное среднее значение величины оценки контролируемого показателя качества.

Используя массовые испытания по измерению действительных значений показателей качества объектов различной природы и получая их оценки на безразмерной шкале, можно исследовать их законы распределения, как случайной величины, что позволит эффективно оценивать и управлять качеством объектов различной природы с помощью статистических методов.

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗСІЮВАННЯ БЕЗРОЗМІРНІ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИРОДИ

Н.І. Кім, Р.М. Тріщ

Пропонується універсальна математична залежність між вимірним показником якості об'єктів різної природи і його оцінкою на безрозмірною шкалою, яка враховує тільки максимально допустимий і мінімально допустиме значення показника якості об'єкта і може застосовуватися як для оцінки якості продукції, так і для оцінки якості процесів, послуг та ін. Побудовано гістограми, вид яких дозволяє висунути гіпотези, що при моделюванні показників якості за нормальним законом розподілу, закон розподілу їх оцінок на безрозмірною шкалою близький до закону рівної ймовірності, а при моделюванні показників якості за законом рівної ймовірності, близький до закону арксинуса.

Ключові слова: якість, безрозмірні показники, оцінка, продукція, процеси.

LAWS OF DISPERSION QUALITY INDICATORS DIMENSIONLESS OBJECTS OF DIFFERENT NATURE

N.I. Kim, R.M. Trishch

Proposed a universal mathematical relationship between the measured indicator of quality of objects of different nature and assessment on a dimensionless scale, which takes into account only the maximum and minimum allowable value of an indicator of quality of the object and can be used to assess the quality of products, and to evaluate the quality of processes, services and others. histograms, whose form allows you to put forward the hypothesis that the modeling of the quality indicators for the normal distribution law, the law of distribution of their assessments on a dimensionless scale similar to the law of equal probability, and in modeling the quality indicators for the law of equal probability, close to the arc sine law.

Keywords: quality, dimensionless figures, evaluation, products, processes.

Вывод

Предлагается зависимость между измеренным показателем качества и его оценкой на безразмерной шкале, которую можно считать универсальной, так как она учитывает только максимально допустимое и минимально допустимое значение показателя качества объекта и может применяться как для оценки качества продукции, так и для оценки качества процессов, услуг и др. Используя метод Монте-Карло построили гистограммы, вид которых позволяет выдвинуть гипотезы, что при моделировании показателей качества за нормальным законом распределения, закон распределения их оценок на безразмерной шкале близок к закону равной вероятности, а при моделировании показателей качества за законом равной вероятности, близок к закону арксинуса.

Список литературы

1. Азгальдов Г.Г. О квалиметрии / А.А. Азгальдов, Э.П. Райхман. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172с.
2. Томашевский А. Попытка количественной оценки критериев качеств измерительных приборов / А. Томашевский // *Potary, automatyko, kontrolia*. – 1966. – № 12. – С. 8-9.
3. Harrington E. C. Jr. The desirability Function / E. C. Jr. Harrington // *Industrial Quality Control*, 1965 – P. 494-498.
4. Трищ Р.М. Обобщенная точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / Р.М. Трищ, Е.А. Слитюк. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – №1. – С. 63–67.
5. Трищ Р.М. Точечная и интервальная оценки качества изделий / Р.М. Трищ, Е.А. Слитюк // *Вісник НТУ „ХПИ”*. – Х.: НТУ „ХПИ”, 2006. – № 27. – С. 96–102.
6. Трищ Г. М. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Трищ Г.М. – Харків, 2014. – 162 с.
7. Горбенко Н.А. Розробка методології оцінювання процесів систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Горбенко Н.А. – Харків, 2014. – 165 с.
8. Катрич О.О. Розвиток кваліметричних методів оцінювання процесів систем управління якістю підприємств відповідно до вимог міжнародних стандартів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Катрич О.О. – Харків, 2014. – 166 с.

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.С. Гордеев, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Харків.

УДК 621:658.562

Г.С. Кіпоренко¹, М.Є. Пахалович², О.М. Хорошилов¹¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² ТОВ «Експертно-технічний центр «ЕНЕРГОРЕСУРС», Київ

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ АЕС НА ВІДПОВІДНІСТЬ НОРМАТИВНИМ ПАРАМЕТРАМ

Запропоновано математичну модель оцінки технічного стану трубопроводів АЕС з урахуванням зміни технічних параметрів у період експлуатації. Враховано зміни товщини стінки та його геометрії при окрихченні металу трубопроводу, дія малоциклового та вібраційного навантаження на стінки ділянок трубопроводу та запропоновано алгоритм оцінки технічного стану на відповідність нормативним параметрам. На основі запропонованої моделі пропонується уточнення оцінки остаточного ресурсу при забезпеченні нормативних параметрів щодо безпеки експлуатації у проектній та понадпроектній терміни експлуатації.

Ключові слова: нормативні параметри, безпека, технічний стан, трубопровідні системи, атомна електростанція.

Вступ

Постановка проблеми. Для забезпечення безпеки понад проектний термін експлуатації енергоблоку необхідно створення ефективного механізму обстеження технічного стану основного металу і зварних з'єднань трубопроводу, що дозволило б максимально оптимізувати процес його експлуатації, виходячи з сприятливого співвідношення економічних показників і безпеки. В тому числі, такий механізм дасть можливість здійснити плавний перехід до експлуатації енергоблоку, без його зупинки на тривалий час і пов'язаних з цим економічних втрат, в терміни поза проектом.

Згідно до Правил та норм атомної енергетики термін служби обладнання і трубопроводів блоків АЕС може бути продовжений на період, що перевищує зазначений в паспорті, на підставі технічного рішення. Технічне рішення має містити оцінку технічного стану обладнання, а саме: аналіз технічної документації, експертне обстеження, аналіз механізму старіння, уточнення граничних станів і їх критеріїв, розрахунок напружено-деформованого стану, дослідження сейсмічних небезпек, розрахунок на міцність, що дасть можливість продовження терміну служби. При цьому показники переоцінки технічного стану АЕС повинні бути не нижче встановленого діючими нормами і правилами по ядерної та радіаційної безпеки.

Разом з тим, існуюче нормативне забезпечення з переоцінки технічного стану не регламентує єдиний механізм його здійснення та методологію визначення комплексного показника з безпечної експлуатації у понадпроектні терміни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуюча нормативна база, щодо безпечної експлуатації АЕС, серед яких НП 306.2.099-2004, НП 306.2.106-2005, НП 306.2.141-2008, ПНАЕ Г-7-008-

89 і ін. містять основні критерії та вимоги до безпеки обладнання АЕС у встановлений термін експлуатації, але не регламентує проведення комплексного аналізу якості обладнання, оскільки не враховують зміни технічних характеристик і параметрів в процесі його експлуатації, різну ступінь зносу через вплив експлуатаційних і режимних умов.

Також, існуюче нормативне забезпечення не визначає перелік технологічних параметрів обладнання, на яке головним чином впливає інтенсивність його старіння, не відображують науково-технічних методик з проведення аналізу стану обладнання для оцінки ресурсу.

Виклад основного матеріалу

Безпека трубопроводних систем визначається технічним станом всіх її елементів: лінійною частиною, насосним обладнанням, резервною частиною. Найважливішими факторами, що визначають технічний стан, є: тривалість експлуатації, марка сталі трубопроводу, фактичні режими експлуатації, корозійна активність середовища, проведення періодичних випробувань підвищеним тиском, внутрішній тиск, температурні впливи, робоче середовище, вагове навантаження, вібраційне навантаження.

При оцінці технічного стану трубопроводних систем та експертизі безпеки одне з центральних місць займає дослідження механічних властивостей металу труб, а саме їх зміна при довготривалій експлуатації у порівнянні з нормативними даними. (ПНАЭ Г-7-008-89, ПНАЭ Г-7-002-86, ГОСТ 9454-78, ТУ-14-3-460-75)

Зміна технічного стану металу трубопроводів у результаті погіршення механічних властивостей викликає прискорення процесів зносу та дію таких факторів:

1) корозійний вплив на метал трубопроводу, поява та розвиток корозійних дефектів;

2) зародження і зростання втомних тріщин на концентраторах напруг і дефектах від втомного та малоциклового механізму впливу;

3) окрихчення і розтріскування металу трубопроводів.

Ці фактори можуть виникати як окремі механізми накопичення пошкоджень, але, як правило, вони мають змішаний характер. Наявність одного з факторів призводить до посилення інших руйнівних факторів. Таким чином, для оцінки технічного стану та прогнозування ресурсу трубопровідних систем необхідно розробити математичну модель, що враховує комплекс механізмів накопичення пошкоджень.

Накопичення пошкоджень визначає ресурс трубопроводу та спирається на визначені циклічної міцності за певний термін експлуатації. Пропонується виконати розрахунок на циклічну міцність за період експлуатації з метою оцінки залишкового ресурсу з урахуванням наступних показників: зміна механічних властивостей металу трубопроводу, зміна товщини стінки трубопроводу у результаті деформації при високих навантаженнях, вплив концентраторів напруг у місцях дефектів, вплив вібраційних навантажень.

Для визначення циклічної міцності при оцінці технічного стану було розглянуто схеми навантаження розрахункових режимів трубопроводів ГЦК. Навантаження на трубопровід складаються з внутрішнього тиску та зовнішніх сил, які викликають механічні напруги у стінці трубопроводу вздовж осі та по окружності, іншими компонентами тензора напруги можна знехтувати через невеликий вплив на міцність трубопроводу. Вихідними параметрами для розрахунку є:

- марка сталі; діаметр трубопроводу, d ; товщина стінки, h ;
- межа міцності, R_m ; умовна межа текучості, $R_{0,2}$; відносне подовження, $A\%$; відносне звуження, $Z\%$; ударна в'язкість, KCV ;
- тиск, P ; температура теплоносія, T , амплітуда напруги вібраційного характеру $\langle \sigma_a \rangle$, малоциклова амплітуда напруги (σ_a).

Згідно схеми навантаження циклічна міцність головного циркуляційного трубопроводу вважається забезпеченою, якщо при наявності різних циклічних навантажень N_i виконується умова:

$$\sum_{i=1}^k N_i / [N_0]_i = a \leq [a_N], \quad (1)$$

де a - накопичене втомне пошкодження обладнання та трубопроводів від експлуатаційних циклів навантаження; $[a_N]$ - допустиме значення накопиченого втомного пошкодження, $[a_N]=1$; $[N_0]_i$ - допустиме число циклів навантаження.

Для перевірки виконання цих умов необхідно визначити як допустиме число циклів навантаження $[N_0]_i$ при умові зміни механічних властивостей, так і фактичні циклічні навантаження різного типу N_i . Загальна (допустима) кількість циклів $[N_0]_i$ до руйнування складається з двох доданків: N_3 - кількість

циклів до зародження дефекту та N_p - кількість циклів на етапі розвитку дефекту, тобто

$$[N_0]_i = N_3 + N_p. \quad (2)$$

Кількість циклів до зародження дефекту визначається рівнянням Коффіна-Менсона. За допомогою цього рівняння встановлюється взаємозв'язок між амплітудою зміни деформацій дефекту, механічними властивостями металу та кількістю циклів N_3 .

Так як існує два режими навантаження, жорсткий (при постійному розмаху деформацій) та м'який (при постійному розмаху напруги), то необхідно це врахувати при визначенні при визначенні N_3 . Також режими навантаження розрізняють за симетричністю, що пропонується врахувати за допомогою визначення коефіцієнта асиметрії: по напруженням $R_\sigma = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ та по деформаціям $R_\epsilon = \epsilon_{\min} / \epsilon_{\max}$, тобто відношення відповідних показників при мінімальних та максимальних навантаженнях в циклі. У випадку, коли коефіцієнт асиметрії дорівнює мінус одиниці ($R = -1$), навантаження вважається симетричним. Отже, для жорсткого симетричного режиму навантаження кількість циклів до зародження дефекту визначається з рівняння:

$$e_a = (1/4) \cdot (\ell n 1/(1-z)) N_3^{-\chi_1} + \sigma_{-1}/E, \quad (3)$$

де e_a - амплітуда дійсних деформацій у вершині дефекту; Z - відносне звуження, що характеризує пластичність металу трубопроводу та визначається як співвідношення зміни товщини стінки металу $\Delta h = h - h_k$ до вихідної товщини стінки h ; h_k - товщина стінки у місці дефекту; χ_1 - показник жорсткого циклічного навантаження; σ_{-1} - межа втоми металу при симетричному навантаженні; $\sigma_{-1} = 0,4 \cdot R_m$; E - модуль пружності. Параметр χ_1 визначається в залежності межі міцності металу:

$$\chi_1 = 0,5 \quad \text{при } R_m \leq 700 \text{ МПа};$$

$$\chi_1 = 0,5 + 0,0002 \cdot (R_m - 700) \quad \text{при } R_m > 700 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Для м'якого симетричного режиму навантаження кількість циклів визначається з рівняння:

$$e_a = (\ln 1/(1-z)) N_3^{-\chi_2} + \sigma_{-1}/E, \quad (5)$$

де χ_2 - показник м'якого циклічного навантаження, який визначається за формулою:

$$\chi_2 = 1,2 \cdot R_{0,2}/R_m - 0,35. \quad (6)$$

Для визначення кількості циклів при асиметричному навантаженні пропонується врахувати асиметрію циклу за деформації шляхом визначення еквівалентного навантаження:

$$\tilde{e}_a = e_a / \left(1 - e_{cp}/e_k\right), \quad (7)$$

де e_k - максимальні деформації до утворення тріщини в вершині дефекту, e_a - амплітуда деформації у вершині дефекту, e_{cp} - середня деформація у той же точці. Значення e_a та e_{cp} для формули (7) визначаються п'їгим чином: $e_{cp} = (e_{\max} + e_{\min}) / 2$; $e_a = (e_{\max} - e_{\min}) / 2$, де e_{\max} та e_{\min} - відповідно найменша та

найбільша деформація у процесі циклічної зміни тиску (напруги).

На основі визначення $\tilde{\epsilon}_a$ та шляхом підставлення його значення замість значення амплітуди дійсних деформацій у вершині дефекту (ϵ_a) по формулам (3) та (5) визначаємо кількість циклів при жорсткому та м'якому асиметричному навантаженні відповідно. Кількість циклів на етапі розвитку дефекту при циклічному навантаженні N_p визначається як:

$$N_p = \int_{\ell_0}^{\ell_c} \frac{da}{C_e (K_{Ie})^{n_e}}, \quad (8)$$

де ℓ_c – критична глибина, що задовольняє умові $K_{Ie} = 0,8K_{IeC}$; ℓ_0 – вихідні дані глибини дефекту; da – швидкість росту тріщини; C_e, n_e – параметри тріщиностійкості металу трубопроводу; K_{Ie} – коефіцієнт інтенсивності напружень.

Параметри тріщиностійкості металу трубопроводу C_e, n_e визначаються механічними властивостями металу та знаходяться по формулам:

$$n_e = 1 + m; C_e = 1 / \left(2\pi (-500 \ln(1-z))^{m+1} \right). \quad (9)$$

Параметр зміцнення деформації m дорівнює

$$m = \ln(1 + \epsilon_m), \quad (10)$$

де ϵ_m – умовна деформація у момент досягнення межі міцності R_m .

Коефіцієнт інтенсивності напружень пропонується обчислювати з урахуванням геометрії дефекту. Розрахунок коефіцієнта інтенсивності напружень для еліптичної поверхневої тріщини (рис. 1) в точках А і В визначається за такими формулами:

$$K_{IA} = M_A N_A S_A \sqrt{\pi l / Q}; \quad (11)$$

$$K_{IB} = M_B N_B S_B \sqrt{\pi l / Q}; \quad (12)$$

$$Q = 1 + 1,464 \alpha^{1,65}, \quad (13)$$

де $M_A = 1,12 - 0,08\alpha$ – параметр тріщини в точці А;

$N_A = \left[1 - (0,89 - 0,57\sqrt{\alpha})^3 \tau^{1,5} \right]^{-3,25}$; l – глибина тріщини, мм;

$M_B = (1,23 - 0,09\alpha)\sqrt{\alpha}$ – параметр тріщини в точці В;

$N_B = (1 + 0,32\tau^2)N_A$; c – ширина тріщини, мм; $\alpha = l/c$ при $l \leq c$; $\tau = l/t$ при $l \leq 0,7t$.

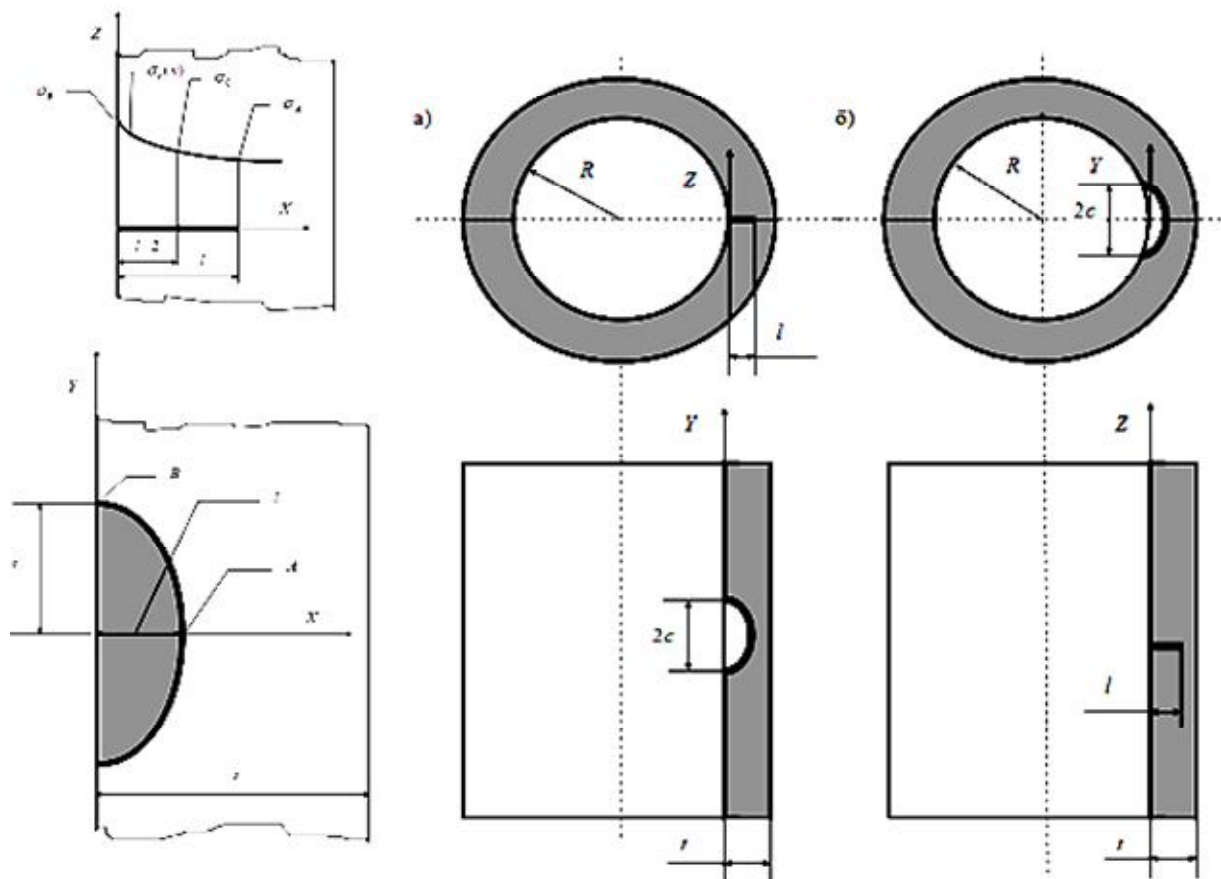


Рис. 1. Схема поверхневої напівеліптичної тріщини з кривизною на поверхні: а – уздовж осі Z; б – уздовж осі Y

Для поверхні елемента, що має кривизну в напрямку осі Z, коефіцієнти інтенсивності напружень визначається по відношенню (поздовжня тріщина; радіус кривизни в напрямку осі Z $R_z = R$, (рис. 1, а):

$$K_{IA}' = \frac{1 + 4 \frac{1}{R_z} (1 - \sqrt{\alpha})}{1 + 5 \frac{1}{R_z} (1 - \sqrt{\alpha}) (1 + 2\tau^2)} K_{IA}, K_{IB}' = K_{IB}. \quad (14)$$

Для поверхні елемента, що має кривизну в напрямку осі Y, коефіцієнти інтенсивності напружень визначається по відношенню (кільцева тріщина; радіус кривизни в напрямку осі Y $R_y = R$ (рис. 1, б):

$$K_{IA}^1 = \left[1 - \frac{1}{\sqrt{tR_y}} (1 - \sqrt{\alpha}) \right] K_{IA}, K_{IB}^1 = K_{IB}. \quad (15)$$

У разі поверхні елемента з кривизною в двох напрямках як результуючий приймається мінімальне значення K_{IA}^1 з двох в якості коефіцієнту, розрахованих за формулами (14) і (15).

Для перевірки умови тріщиностійкості знайдемо параметр K_{Ie} :

$$K_{IeC} = (2,5(a_{0,5}R_m)\sqrt{0,5h}/\sigma_T I)^{P_{ec}}$$

при $a_{0,5}R_m \leq \sigma_T I$; (16)

$$K_{IeC} = (2,5(a_{0,5}R_m)\sqrt{0,5h}/\sigma_T I)^{P_{ec}} + (a_{0,5}R_m/\sigma_T I)$$

при $a_{0,5}R_m > \sigma_T I$, (17)

де $a_{0,5}$ – величина що характеризує відносну глибину тріщини в залежності від металу трубопроводу (довідкові данні), σ_T – межа пружності по напружам, I – поправочний множник на двоосність напруженого стану, P_{ec} – показник, що залежить від механічних властивостей металу. Параметр σ_T , I та P_{ec} , визначаються за формулами:

$$\sigma_T = \left(R_{0,2} / (0,0002E + R_{0,2})^m \right)^{1/(1+m)}; \quad (18)$$

$I = 1,43 - m \cdot (0,36 + 0,8m)$ при $m < 0,54$; $I = 1$
при $m \geq 0,54$; (19)

$$P_{ec} = (2 - 0,5(1 - m)(1 - a_{0,5}R_m/\sigma_T I)) / (1 + m). \quad (20)$$

Зміна механічних властивостей металу трубопроводу враховувалась за допомогою таких функцій:

$$R_{0,2} = f_{0,2}(t); R_m = f_m(t); A = f_A(t); Z = f_Z(t);$$

$$m = f_m(t); a_{0,5} = f_a(t); \quad (21)$$

де t – час експлуатації, роки; $f_{0,2}(t), \dots, f_m$ – емпіричні функції.

Функції зміни механічних властивостей металу трубопроводу обирались у вигляді поліномів другого порядку (підвищення порядку апроксимуючих поліномів недоцільно):

$$R_m = R_m^0 + a_m t + b_m t^2; Z = Z^0 + a_z t + b_z t^2. \quad (22)$$

Тоді параметрами зміни механічних властивостей слід вважати коефіцієнти поліномів. Величини з верхнім індексом «0» відповідають механічним властивостям металу трубопроводу в началі експлуатації (вихідні дані властивостей за паспортом трубопроводу).

Фактична кількість циклів визначається за допомогою побудови блоку навантаження з відзначен-

ням робочих параметрів тиску P_i та відповідних перепадів тиску ΔP_i , якщо режимів декілька, (наприклад, режим нормальної експлуатації – НЕ, порушення нормальних умов експлуатації – ПНЕ, гідравлічні випробування – ГВ), тоді накопичене втомне пошкодження обладнання та трубопроводів від експлуатаційних циклів навантаження визначається:

$$a = N_{HE}/[N_0]_{HE} + N_{PNE}/[N_0]_{PNE} + N_{GV}/[N_0]_{GV}, \quad (23)$$

де $[N_0]_{HE}, [N_0]_{PNE}, [N_0]_{GV}$ – кількість циклів, що може витримати трубопровід в режимі навантаження НЕ, ПНЕ, ГВ відповідно; N_{HE}, N_{PNE}, N_{GV} – фактична кількість циклів в режимі навантаження НЕ, ПНЕ, ГВ відповідно.

Поєднання основного циклічного навантаження з амплітудою (σ_A) частотою f_0 і накладеного з амплітудою $\langle \sigma_a \rangle$ частотою f , викликає зниження допустимої кількості циклів основного низькочастотного навантаження, що пропонується врахувати за допомогою введення коефіцієнт \aleph – коефіцієнт зниження довговічності при накладенні високочастотних циклів.

Коефіцієнт \aleph визначають за формулою:

$$\aleph = (f/f_0)^{\eta(\sigma_a)/(\sigma_a)}, \quad (24)$$

де $f_0 = 1/(t_1 + t_2)$ – частота основного циклу змінних напружень, що визначається без урахування періоду часу, протягом якого відбувається накладення додаткових напружень на постійні; t_1 – час перехідного режиму; t_2 – стаціонарний час роботи; $\langle \sigma_a \rangle$ – амплітуда наведених напружень вібраційної складової циклу; (σ_a) – амплітуда наведених напружень основного циклу без урахування концентрації напружень; η – коефіцієнт, що залежить від матеріалу (нормативний параметр обирається згідно ПНАЭ Г -7-002-86).

Для основного циклу навантаження i -го типу пошкодження a_3^* визначають за формулою:

$$(a_3^*)_i = \aleph_i N_i / [N_0]_i. \quad (25)$$

На основі запропонованої математичної моделі оцінки технічного стану трубопроводів розроблено алгоритм діагностики головного циркуляційного трубопроводу, який полягає у наступному:

Першим етапом була побудована трьох вимірний (оболонкова) модель трубопроводу та визначено зони контролю металу на прямолінійних та зігнутих ділянках, що дає можливість визначити напруги, що виникають як на зовнішньої, так і на внутрішній стороні стінки трубопроводу (рис. 2).

Другим етапом був побудований блок навантаження за час експлуатації для визначення напружено деформованого стану при малоциклових навантаженнях з урахуванням вібрації трубопроводу (рис. 3).

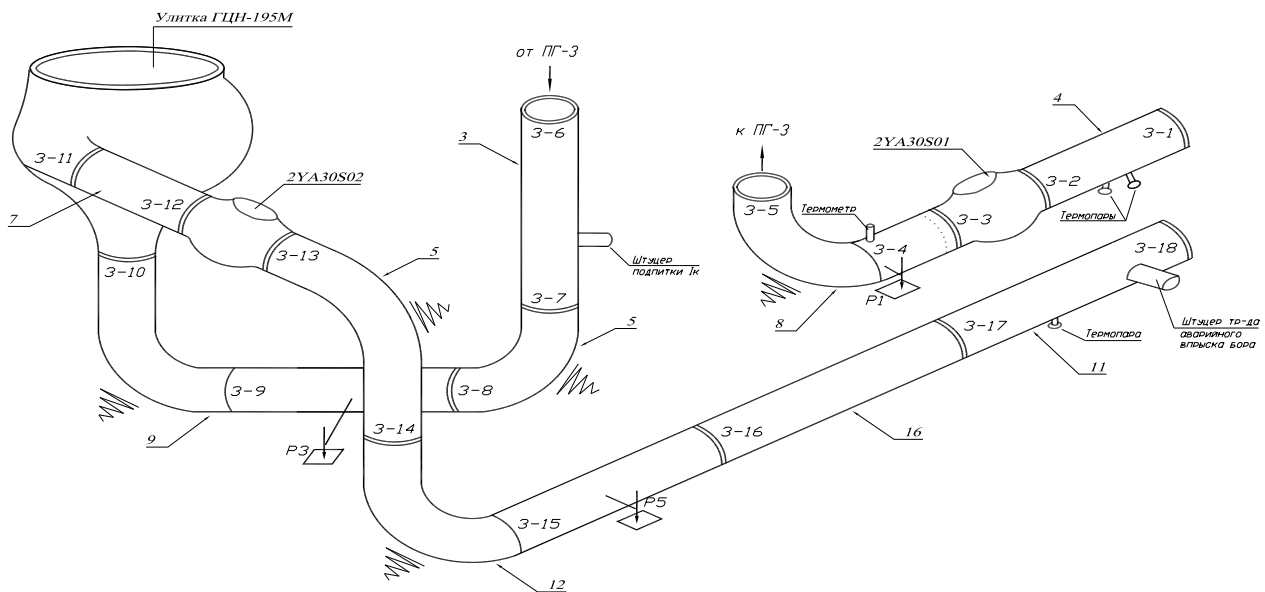


Рис. 2. Модель головного циркуляційного трубопроводу

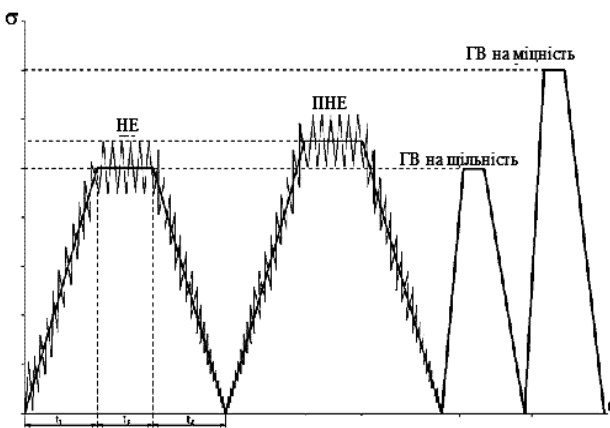


Рис. 3. Схема фактичного навантаження ГЦТ, Г33 і трубопроводу зв'язку КО з «гарячої» ниткою петлі №4 ГЦК: НЕ – нормальні умови експлуатації; ПНЕ – порушення нормальних умов експлуатації; ГВ – гідравлічні випробування

Побудова блоку навантаження з урахуванням малоциклового та вібраційного навантаження дає змогу оцінити напружено-деформований стан трубопроводу та є вихідними даними для розрахунку фактичного значення циклічних навантажень N_i за термін експлуатації.

Третім етапом було визначення фактичних механічних властивостей металу трубопроводу та його геометричних розмірів для визначення найбільш небезпечних з позиції порушення цілісності трубопроводів, для яких можлива дія найбільших навантажень та впливів.

В табл. 1 приведено деякі ділянки трубопроводу, мінімальні значення поточних механічних властивостей та їх значення товщини стінок, що визначались за результатами товщинометрії, а радіуси кривизни обрано за даними виконавчих схем та робочих креслень.

Четвертим етапом проведено розрахунок розподілу напружень в трубопроводі (рис. 4) в залежності від режиму експлуатації: нормальна експлуатація (НЕ), гідравлічні випробування (ГВ).

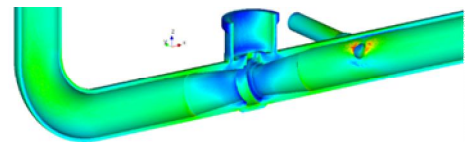
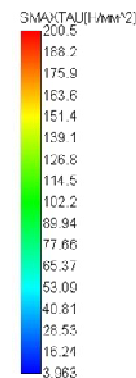


Рис. 4. Розподіл напружень $\sigma_{1,3}$ на ділянці трубопроводу ГЦТ, «гаряча» нитка (режим – НЕ, навантаження - внутрішній тиск)

П'ятим етапом було встановлення відповідності між параметрами технічного стану та умовами міцності [Р] трубопроводів згідно норм ПНАЕ Г-7-002-86 (табл. 2).

Шостим етапом було визначення закономірності зміни властивостей металу трубопроводу за час експлуатації шляхом аналізу експлуатаційних змін механічних властивостей металу R_m^T , $R_{p0,2}^T$, Z^T , A^T , K_{IC} та ін. (рис. 6).

За запропонованою методикою виконано розрахунок на опір крихкому руйнуванню елементів ГЦТ, Г33 і трубопроводу зв'язку КО з «гарячої» ниткою петлі №4 ГЦК.

Результати визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень для поздовжньої і поперечної поступованої тріщини для режимів НЕ, ПНЕ і ГВ наведені на діаграмі рис. 5.

Таблиця 1

Механічні властивості металу ГЦТ та трубопроводу зв'язку КО з «гарячою» ниткою петлі №4 ГЦК та геометричні розміри ділянок

Ділянка трубопроводу	Твердість НВ	R_m^T , кгс/мм ²	$R_{p0,2}^T$, кгс/мм ²	Z^T , %	A^T , %	Товщина, мм	Радіус кривизни, мм
2ГЦТ-3 («гаряча» нитка)	167,6	55,10	41,79	66,67	27,64	78,29	495,0
2ГЦТ-3 («холодна» нитка, ділянка від ПГ до ГЦН)	168,0	55,28	41,91	66,60	27,55	78,45	495,0
2ГЦТ-3 («холодна» нитка, ділянка від ГЦН до ГЗЗ)	181,0	61,26	46,01	64,33	24,92	108,2	495,0
Трубопровід зв'язку КО з гарячою ниткою петлі №4 ГЦК	168,4	55,46	42,04	66,53	27,46	39,98	213,0

Таблиця 2

Параметри технічного стану та відповідні умови міцності [P] трубопроводів згідно норм ПНАЕ Г-7-002-86

№№ п/п	Умови міцності трубопроводу	Механічні властивості металу	Допустимі характеристики міцності, [P]	Розділи та пункти ПНАЭ Г-7-002-86
1	Статична міцність	$R_m^T, R_{p0,2}^T$	$[\sigma]$	Пункт 3.4, Таблиця 5.6
2	Циклічна міцність (віброміцність)	$R_m^T, R_{p0,2}^T, E, Z^T, [N_0]$	$[\sigma_{aF}]$	Пункти 5.6.5 – 5.6.7, Додаток 8
		$R_m^T, R_{p0,2}^T, E, Z^T, [\sigma_{aF}]$	$[N_0]$	
3	Опір хрупкому руйнуванню	$K_{IC}, R_m^T, R_{p0,2}^T$	$[K_I]$	Розділ 5.8
4	Опір сейсмічним діям	$R_m^T, R_{p0,2}^T$	$[\sigma]$	Табл. 5.14, 5.16, 5.17
		$R_m^T, R_{p0,2}^T, E, Z^T, [N_0]$	$[\sigma_{aF}]$	Пункти 5.6.5 – 5.6.7

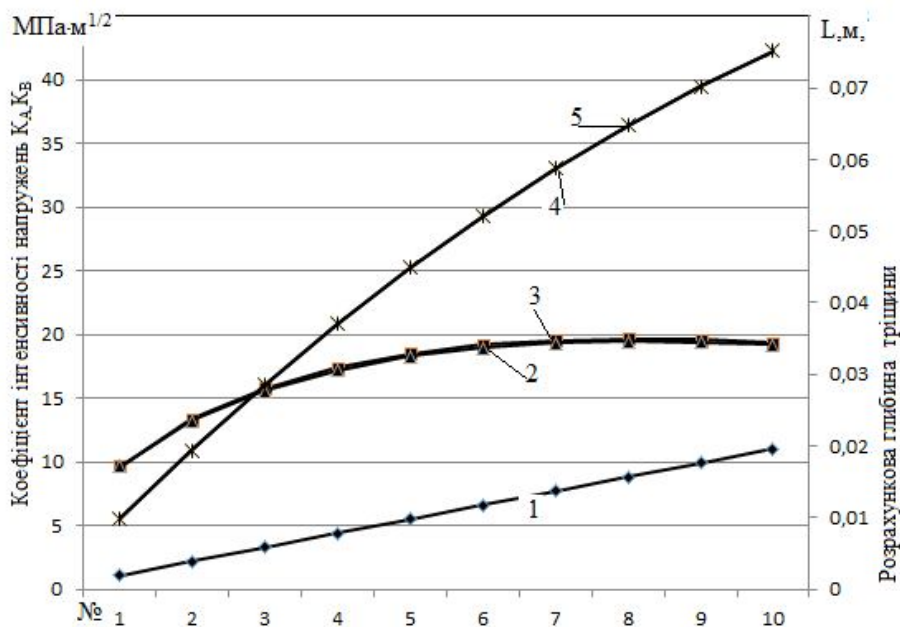


Рис. 5. Діаграма залежності коефіцієнтів інтенсивності напружень ГЦТ від корпусу реактора (КР) до парогенератору (ПГ) при нормальних умовах експлуатації

Сьомим етапом було прогнозування граничних параметрів технічного стану трубопроводів при яких умови міцності не порушуються $P_{гран.} = [P]_{гран.}$. На цьому етапі використовуються дані

результатів етапів 5 і 6 та прогнозування залежностей $[P](\tau)$ і $P(\tau)$ урахуванням вимог нормативних документів до граничних нормативних параметрів трубопроводів.

Висновки

В результаті виконаного розрахунку на опір крихкому руйнуванню трубопроводу ГЦК було встановлено, що умови опору крихкому руйнуванню виконуються для всіх розглянутих розрахункових зон.

Максимальні навантаження трубопроводу внутрішнім тиском, вагою і температурою, які визначаються за сумами складових загальних мембранних, загальних згинальних, напруг компенсації, місцевих згинальних, загальних температурних напружень дорівнює $\sigma_{1-3} = 206,74$ МПа. Значення допустимих напружень для цієї розрахункової групи дорівнює $(\sigma)_2 = 275,5$ МПа.

При цьому напруги, що виникають в найбільш навантажених перерізах трубопроводу головного циркуляційного контуру для розрахованих груп напружень не перевищують відповідних допустимих напружень. Похибка розрахунків на внутрішній поверхні не перевищує 3,2%, на зовнішній поверхні 3,5%.

Таким чином, статична міцність трубопроводів головного циркуляційного контуру при нормальній експлуатації забезпечена.

На основі проведених численних досліджень встановлено максимальні значення напруг що виникають в трубопроводі на різних ділянках, при різних режимах експлуатації: НЕ, ПНЕ і ГВ. Такий підхід дає можливість розробити уточнену схему визначення технічного стану та граничних параметрів металу трубопроводу у проектний та понадпроектний терміни.

На основі запропонованої математичної моделі та алгоритму оцінки технічного стану трубопроводів АЕС розроблено проект стандарту МТ-Р 0.30.209-16

«Методика визначення технічного стану та перепризначення термінів експлуатації трубопроводів АЕС».

Список літератури

1. Шугайло А-й П. Рекомендации по совершенствованию национальной нормативной базы в части продления и управления старением энергоблоков АЭС Украины // А-й П. Шугайло, А-р П. Шугайло, Д.И. Рыжов, В.Б. Крицкий, С.В. Романов, А.М. Колупаев / Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Киев // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – 3(59). – С. 3-9.
2. Шугайло А.П., Современные международные подходы к оценке/пероценке сейсмостойкости важных для безопасности систем и элементов ядерных установок / А.П. Шугайло, Д.И. Рыжов., Е.Е. Майборода / Ядерна та радіаційна безпека. – 2007 – Т. 10, вип. 4. – С. 62-82.
3. Safety Aspects of Long Term Operation of Water Moderated Reactors. Recommendations on the Scope and Content of Programmers for Safe Long Term Operation. Final Report of the Extrabudgetary Programmer on Safety Aspects Long Term Operation of Water Moderated Reactors [Text]. – IAEA-EBP-SALTO. — Vienna: IAEA, 2007.
4. Methodology and Supporting Research for Pressurized Thermal Shock Evaluation. МАГАТЭ, – Вена, Австрія, 2000.
5. Comparison Report of RPV Pressurised Thermal Shock International Comparative Assessment Study (PTSCAS). OECD Nuclear Energy Agency, – Париж, Франція, 1999.
6. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Текст]. – Утверждены ГАЭН СССР, 1987.
7. Программний комплекс ANSYS [Електронний ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 20.06.2016).

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.М. Тріщ, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ АЭС НА СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ

А.С. Кипоренко, М.Е. Пахалович, О.Н. Хорошилов

В статье предложена математическая модель оценки технического состояния трубопроводов АЭС с учетом изменения технических параметров в период эксплуатации. Учтены изменения толщины стенки и его геометрии при охрупчивании металла трубопровода, действию малоциклового и вибрационной нагрузки на стенки участков трубопровода и предложен алгоритм оценки технического состояния на соответствие нормативным параметрам. На основе предложенной модели предлагается уточнение оценки остаточного ресурса при обеспечении нормативных параметров безопасности эксплуатации проектной и сверхпроектной эксплуатации.

Ключевые слова: нормативные параметры, безопасность, технические состояние, трубопроводные системы, атомная электростанция.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF NUCLEAR POWER PLANT PIPING SYSTEMS UNDER NORMATIVE PARAMETERS

A.S. Kiporenko, M.Ye. Pahalovich, O.M. Khoroshilov

The article suggests a mathematical model of technical condition assessment of NPP pipelines taking into account changes of technical parameters during operation. Taken into account changes in wall thickness and geometry at the embrittlement of the pipeline metal, low-cycle action and vibration on the wall sections of the pipeline and the algorithm of technical condition assessment for compliance normative parameters. Based on the proposed model was offered clarification residual life assessment, while ensuring legal safety of operation beyond the design parameters of the design and operation.

Keywords: normative parameters, safety, technical condition, pipeline systems, nuclear power plant.

УДК 006.91

О.Є. Малецька¹, А.М. Денисенко², О.А. Мельниченко¹¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² ТОВ «ПРОМСТАНДАРТ», Київ

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО КОМПЕТЕНТНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ ПІДПРИЄМСТВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

В статті аналізуються вимоги до компетентності вимірювальних лабораторій підприємств, як основа одержання достовірних результатів вимірювань. В свою чергу, достовірні результати вимірювань необхідні для забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції, яка виготовляється. Показано, які дії необхідно виконати підприємству для забезпечення компетентності його лабораторії та як довести замовнику, що вимірювання виконуються якісно з необхідною точністю та результати вимірювання достовірні. Точність вимірювань може характеризуватися похибкою, невизначеністю, правильністю або прецизійністю результату вимірювань.

Ключові слова: компетентність, лабораторія, метрологія, метрологічна діяльність.

Вступ та актуальність

Забезпечення якості вимірювань параметрів продукції, які проводяться під час розроблення, випуску, випробовувань та експлуатації продукції, є підставою для випуску конкурентоспроможної продукції, зменшення витрат підприємства, пов'язаних з випуском бракованої продукції та рекламациями замовників і споживачів. На підприємстві надійний контроль параметрів продукції забезпечується вимірювальними лабораторіями. Ці лабораторії можуть називатися по різному, але основна мета їх діяльності – проведення вимірювань з необхідною точністю.

Актуальність цієї статті обґрунтована відсутністю у Законі України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [1] (далі – Закон) вимог до забезпечення компетентності вимірювальних лабораторій. Відсутність такої норми у Законі [1] призвело до появи такої проблеми на підприємствах, як встановлення вимог до компетентності лабораторій та постійне її забезпечення.

Огляд літератури

В Законі України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [2] регламентувалися вимоги до атестації вимірювальних лабораторій. Процедура атестації цих лабораторій була встановлена у “Правилах уповноваження та атестації у державній метрологічній системі” [3]. Ці правила прописували всі питання перевірки компетентності лабораторій, форми та зміст необхідних документів. Вимірювальні лабораторії звикли до проведення цієї процедури, яка допомагала їм забезпечувати якість вимірювань, що проводились, та підтверджувала свідоцтвом про атестацію компетентність лабораторії.

Одним із прийнятим на міжнародному та вітчизняному рівні засобом підтвердження компетент-

ності є відповідність випробувальних (вимірювальних) лабораторій вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [4]. Однак, впровадження в лабораторії цього стандарту та проведення за його вимогами акредитації лабораторії не завжди виправдані як з точки зору практичної доцільності, так і за недоречними матеріальними витратами.

Основна частина

Під якістю вимірювань передбачається одержання достовірних результатів вимірювань з точністю, яка регламентована відповідними нормативними документами. Точність вимірювання нормується в технічній документації на продукцію. Процедура проведення вимірювань, яка саме і забезпечує нормовану точність, встановлюється в методиках вимірювань. При цьому результат вимірювання може застосовуватися для контролю технологічного процесу, з метою проведення випробувань продукції для підтвердження її відповідності як у законодавчо регульованій та і не законодавчо нерегульованій сфері. Незалежно від мети проведення вимірювань для забезпечення якості вимірювань необхідно:

- проведення вимірювань лабораторіями, які компетентні у відповідній галузі діяльності;
- забезпечення відповідної кваліфікації співробітників лабораторії;
- оснащення лабораторії необхідним обладнанням та підтримка його у працездатному стані з підтвердженням його відповідності згідно з вимогами чинних нормативних документів;
- постійна актуалізація нормативного фонду, який містить нормативно-правові акти та нормативні документи, необхідні для правильного виконання вимірювань, оформлення їх результатів, відбору та підготовки проб, підготовки до проведення вимірювань.

Якість вимірювань, як загальна задача, забезпечується єдністю вимірювань та виконанням вимог до проведення вимірювань. З точки зору законодавчих вимог до проведення вимірювань, основою всієї метрологічної діяльності незалежно від рівня та мети її проведення є вимоги Закону [1], основною метою якого є забезпечення єдності вимірювань в Україні та захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань.

У зв'язку з відсутністю у Законі [1] вимог до атестації вимірювальних лабораторій, то починаючи з 2016 року, незалежно від сфери діяльності лабораторія повинна сама піклуватися про забезпечення компетентності. Тому забезпечення компетентності лабораторії викликає питання підприємств: як дії необхідно виконати для цього та як довести замовнику про те, що вимірювання виконуються якісно з необхідною точністю та результати достовірні.

Для вимірювальних лабораторій компетентність визначається на підставі відповідності вимогам процедур проведення вимірювань у сфері діяльності, тобто згідно із застосованими методиками вимірювань. Загальні критерії компетентності для вимірювальної лабораторії завжди визначаються наявністю відповідно до її галузі діяльності таких ресурсів:

- компетентний персонал;
- приміщення та умови довкілля у них;
- технічне обладнання;
- методики проведення робіт;
- система управління якістю.

Вимірювальні лабораторії, у яких галузь діяльності пов'язана із законодавчо регульованими сферами (наприклад сфери законодавчо регульованої метрології – стаття 3 Закону [1]), для підтвердження своєї компетентності завжди зверталися до третьої сторони згідно із законодавчими вимогами (див. Закону [2]). Зараз вимірювальні лабораторії можуть звертатися як до третьої сторони до тих організацій, яким вони довіряють або згідно з вимогами замовників продукції підприємства. Відповідно до вимог Закону [1] свідоцтва про атестацію вимірювальних лабораторій чинні до закінченню терміну їх дії, але тільки до 31.12.2018 р.. Законом [1] також передбачена поява процедури уповноваження вимірювальних лабораторій, яка буде передбачатися деяким законом або деякими законами.

Зараз для забезпечення компетентності вимірювальних лабораторій, у яких галузь діяльності пов'язана із сферами діяльності, зазначеними статтею 3 Закону [1], є такі особливості:

- у разі проведення вимірювань у сфері законодавчо регульованої метрології ЗВТ повинні бути повірені в уповноважених повірочних лабораторіях саме в наукових метрологічних центрах, державних

підприємствах, які належать до сфери управління Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та провадять метрологічну діяльність, та повірочні лабораторії;

- у разі застосування нестандартизованих методик вимірювань (розроблених лабораторією) слід проводити оцінку їх придатності до застосування (валідацію), яка є аналогією атестації методик вимірювань до 31.12.2015 р. (дивись ГОСТ 8.010-99 [5]);

- у разі застосування нових для лабораторії стандартизованих методик бажано проводити перевірку правильності використання цієї методики (верифікацію);

- відбору проб слід уділяти значну увагу, визначити процедуру відбору зразків (у її відсутності). В протоколі вимірювань зазначити методику відбору проб, дату відбору, персонал, який відбирав проби тощо;

- якщо вказується невизначеність вимірювань результату, то в методиці вимірювань слід навести рівняння вимірювань та бюджет невизначеності.

У вимірювальних лабораторіях, які були атестовані, для забезпечення компетентності лабораторії слід підтримувати відповідність тим критеріям, які перевірялися під час атестації.

Для всіх лабораторій, що здійснюють метрологічну діяльність, важливим питанням залишається наявність відповідних робочих місць. Робочі місця повинні відповідати своєму призначенню. Тому і на цей час бажано їх паспортизувати. Можна їх і атестувати так, як бажає лабораторія.

Все технічне обладнання лабораторій повинно бути ідентифіковане, втрачене та справне. Випробувальне та допоміжне обладнання повинно своєчасно перевірятися (підлягати атестації).

Наявність настанови з якості забезпечує функціонування системи управління якістю в лабораторії. Документи системи управління якістю розробляються за бажанням лабораторії. Однак, слід ще раз звернути увагу на необхідність самоконтролю лабораторією якості проведених вимірювань. Для цієї мети кращого ніж проведення внутрішнього аудиту немає. Такий аудит дозволяє своєчасно застосовувати корегувальні та запобіжні дії для забезпечення якості робіт, що проводяться лабораторією, виявляти невідповідності та надавати замовникам докази щодо достовірності результатів виконаних робіт із забезпечення єдності вимірювань.

На цей час є багато різних методів перевірки якості проведених вимірювань: перевіряння допустимого розходження між результатами двох паралельних вимірювань, періодичне оцінювання повторюваності та відтворюваності вимірювань, участь у міжлабораторних порівняльних випробуваннях, застосування статистичних методів тощо. Вимірювальні лабораторії обов'язково повинні проводити

перевірку якості проведених вимірювань на підставі вибраних ними методів.

Для забезпечення якості вимірювань повинно бути встановлено для кожної продукції перелік параметрів, які контролюються з метою встановлення її якості та відповідності вимогам замовника, технічним регламентам або стандартам. При цьому виробники продукції повинні визначати такі вимоги, як:

- нормовані значення або діапазони значень параметрів продукції відповідно до виду продукції;
- вимоги до точності вимірювань фізичних величин, які характеризують ці параметри;
- вимоги до методів та засобів проведення вимірювань під час випробувань та контролю параметрів;
- загальний опис процедур проведення вимірювань, випробувань та контролю параметрів;
- допустимі значення похибки або невизначеності вимірювань;
- у разі застосування для оцінки точності вимірювань невизначеності – рівняння вимірювання та складові бюджету невизначеності.

Відповідно до статті 7 Закону [1] до вимірювань слід враховувати, що:

- вимірюванням вважається процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величині;
- результати вимірювань можуть бути використані у сфері законодавчо регульованої метрології за умови, що для таких результатів відомі відповідні характеристики похибок або невизначеність вимірювань.

Таким чином, для забезпечення якості вимірювань на підприємстві необхідно сформувати фонд технічної документації, в т.ч. і нормативних документів, які регламентують вимоги до тих видів продукції, які випускаються підприємством або вхідний контроль якості яких проводиться, та вимоги до проведення всіх вимірювань на підприємстві незалежно від поставленої вимірювальної задачі.

Точність вимірювань може характеризуватися похибкою, невизначеністю вимірювань, правильністю або прецизійністю результату вимірювань.

Для забезпечення якості вимірювань на підприємстві необхідно розроблювати процедури, які будуть регламентувати:

- порядок забезпечення компетентності фахівців, які проводять вимірювання (порядок підвищення кваліфікації, порядок їх атестації, поведження із стажерами);
- заходи, необхідні для забезпечення відповідності приміщень методикам вимірювань;
- порядок формування та актуалізації фонду необхідних документів;
- поведження з засобами вимірювальної техніки та випробувальним обладнанням;

- вимоги до оформлення результатів вимірювань, тощо.

Під час проведення вимірювань та випробувань у міжнародній практиці приділяється значна увага забезпеченню єдності вимірювань та таким складовим, як простежуваність вимірювань, повірка або калібрування засобів вимірювальної техніки, оцінка точності вимірювань та валідація та верифікація методик вимірювань.

Одним з аспектів забезпечення якості вимірювань та випробувань у міжнародній практиці є участь у міжлабораторних порівняльних випробуваннях. Міжлабораторні звірення широко використовуються для ряду завдань і знаходять все більше застосування на міжнародному рівні. Типовими завданнями міжлабораторних порівнянь є:

- оцінювання характеристик функціонування лабораторій з проведення певних випробувань або виконання вимірювань і постійний моніторинг за ними;
- виявлення проблем в лабораторіях, пов'язаних, наприклад, із застосуванням неправильних процедур вимірювань або випробувань, недостатньою ефективністю навчання і управління персоналом або некоректної калібруванням обладнання, і їх усунення;
- встановлення ефективності та порівняльності методів випробувань або вимірювань;
- забезпечення додаткового довіри у замовників лабораторії;
- виявлення відмінностей між лабораторіями;
- навчання лабораторій, які беруть участь, засноване на результатах звірень;
- підтвердження заявленої невизначеності;
- оцінювання характеристик методу (часто описується як спільні випробування);
- приписування значень стандартних зразків та оцінювання їх придатності для використання в певних процедурах вимірювань або випробувань;
- підтримка у встановленні еквівалентності вимірювань, виконуваних національними метрологічними інститутами, через ключові звірення і додаткові звірення, що проводяться від імені Міжнародного бюро мір і ваг (BIPM), і взаємодіючими з ними регіональними метрологічними організаціями. Міжлабораторні випробування проводяться у вигляді:

- випробувань, які являють собою будь-яку технічну операцію, призначену для визначення або контролю однієї або декількох характеристик чи параметрів об'єкта випробувань, яку виконують за встановленою процедурою;

- вимірювань, які являють собою технічну операцію, призначену для відображення фізичних величин, що вимірюються, їх значеннями за допомогою експерименту та обчислень за встановленою МВВ.

Міжлабораторні випробування проводяться у формі:

- міжлабораторних порівнянь результатів вимірювання;
- спільних міжлабораторних експериментів з метою встановлення опорних значень;
- міжлабораторних звірень;
- міжлабораторних порівняльних випробувань.

Участь у проведенні міжлабораторних випробувань сприяють підвищенню технічного рівня лабораторії та компетентності її персоналу.

Таким чином забезпечення якості вимірювань, які проводяться з різною метою, повинно бути на першому місці серед завдань, що стоять перед випробувальними та вимірювальними лабораторіями. Та зусилля лабораторій у цьому напрямку будуть давати позитивні результати як для самих лабораторій, підприємств або організацій, до яких вони належать, та і в цілому для економіки та суспільно-соціальної сфери України.

Однак, на цей час в Україні головне для вимірювальних лабораторій вибрати та застосовувати постійно методи забезпечення та підтвердження якості проведених вимірювань. Це може бути застосування:

- різноманітних статистичних методів - контрольних карт (арифметичних, Шухарта);
- положень ДСТУ ГОСТ ІСО 5725:2005 для оцінювання правильності та прецизійності методів та результатів вимірювання тощо.

ВИСНОВОК

Компетентність вимірювальної лабораторії складається з багатьох чинників. Серед них насамперед кваліфікація персоналу, якій на підставі своєї

професійної майстерності, забезпечує якість проведених вимірювань. Компетентність вимірювальної лабораторії є справою самої лабораторії. Тому лабораторія для підтвердження своєї компетентності проводити певні вимірювання може застосовувати різні підходи – від проведення внутрішнього аудиту до залучення третьої сторони.

Список літератури

1. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 5.06.2014 р. № 1314-VII із змінами, внесеними у відповідності із Законом № 124-VIII від 15.01.2015р.
2. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" № 13/98-ВР від 11.02.1998 р. із змінами, внесеними згідно із Законом України № 1765-IV від 15.06.2004 р.
3. Правила уповноваження та атестації у державній метрологічній системі, затверджені наказом Держспоживстандарту України від 29.03.2005 р. № 71 та зареєстровані в Мінюсті України 13.04.2005 р. за № 3927/10672.
4. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT).
5. ГОСТ 8.010-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения (Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Основні положення).
6. ДСТУ ГОСТ ІСО 5725:2005 (усі частини) Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання.

Надійшла до редколегії 23.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.М. Тріщ, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЕТЕНТНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

О.Е. Малецкая, А.Н. Денисенко, А.А. Мельниченко

В статье анализируются требования к компетентности измерительных лабораторий предприятий, как основа получения достоверных результатов измерений. В свою очередь, достоверные результаты измерений необходимы для обеспечения качества и конкурентоспособности производимой продукции. Показано, какие действия необходимо выполнить предприятию для обеспечения компетентности его лаборатории и как доказать заказчику, что измерения выполняются качественно с необходимой точностью и результаты измерения достоверны. Точность измерений может характеризоваться погрешностью, неопределенностью, правильностью или прецизионностью результата измерений.

Ключевые слова: компетентность, лаборатория, метрология, метрологическая деятельность.

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR THE COMPETENCE OF TESTING LABORATORIES ENTERPRISES IN MODERN CONDITIONS

O.Ye. Maletskaya, A.M. Denisenko, O.A. Melnichenko

The article analyzes the requirements for the competence of measurement laboratories of enterprises as the basis for obtaining reliable measurement results. In turn, accurate measurement results essential to ensure the quality and competitiveness of products manufactured. Shown the steps you need company for its expertise and laboratories to prove to the customer that the measurements are carried out efficiently with the required accuracy and reliable measurement results. Precision measurements can be characterized by error, uncertainty, accuracy or precision measurement results.

Keywords: competence, laboratory, metrology, metrological activities.

Зв'язок

УДК 621.391

С.М. Петрук

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ МІМО БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті проведений аналіз відомих методів прогнозування випадкового часового ряду, який взято за основу для опису сигнально-завадової обстановки в системах МІМО безпілотних авіаційних комплексів. Проведено постановку та вирішення задачі оптимального прогнозування випадкового часового ряду та розроблений алгоритм оцінювання АР-параметрів на основі методу максимальної ентропії.

Ключові слова: безпілотні авіаційні комплекси, сигнально-завадова обстановка, прогнозування, канали управління та передачі даних, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення.

Вступ

Перспективні канали управління та передачі даних безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) повинні забезпечувати передачу інформації у складній радіоелектронній обстановці [1, 2]. Цих цілей необхідно досягти в складних умовах багатопроменевого просторового каналу, в якому можливі глибокі завмирання сигналів, при жорстких обмеженнях на частотну смугу і потужність передавальних пристроїв, а також з врахуванням ефекту Доплера.

Проведений в роботах [1, 2] аналіз свідчить про те, що більшість відомого науково-методичного апарату управління параметрами каналів управління та передачі даних БпАК не передбачає прогнозування стану каналів управління та передачі даних.

Тому *метою статті* є аналіз методів прогнозування якості каналів управління та передачі даних БпАК спеціального призначення, що функціонують в складній сигнально-завадовій обстановці.

Постановка завдання

Аналіз наукових публікацій [3 – 6] свідчить про те, що при наявності певної інерційності процесів, що розглядаються, взаємозв'язків та збереження в подальшому основних зовнішніх умов їх розвитку, правомірно з певним ступенем ймовірності очікувати збереження характеру цього процесу. Тим самим стає доцільним використовувати різноманітні методи знаходження та екстраполяції домінуючої тенденції розвитку об'єкту, що аналізується, об'єднаних ідеєю статистичного підходу. Ідея статистичних методів прогнозування заснована на моделі стаціонарного часового ряду. Особливістю методів статистичного прогнозування полягає в тому, що вони оперують з визначеною послідовністю чисел, яка в рамках статистичного підходу визнається реалізацією випадкового

процесу. Одним з основних засобів аналізу та прогнозування в рамках статистичного підходу є модель, що використовується в двох значеннях: як модель часового ряду, що виражає закон генерування членів ряду та як предиктор. Головна відмінність двох типів моделей в тому, що на виході моделі часового ряду фактичні члени ряду, а на виході моделі прогнозу – оцінки майбутніх членів ряду.

Процес прогнозування, на основі статистичних методів, відбувається в два етапи. Перший полягає в узагальненні даних, що спостерігаються за деякий проміжок часу, та представлення статистичних закономірностей у вигляді моделі. На другому етапі на основі знайдених закономірностей визначається очікуване значення прогнозуємої ознаки або члена числової послідовності. Введемо формалізований опис деяких основних визначень [7].

Результати досліджень

Реалізацією випадкового процесу назовемо послідовність n результатів спостереження $x(0), x(1), \dots, x(n-1)$ деякого процесу в дискретний момент часу $t = 0, 1, \dots, n-1$. Послідовність спостереження $\{x(t)\}$, отриманих у рівно відстаючі моменти часу, будемо називати динамічним або часовим рядом, а відповідну йому ймовірнісну модель – випадковим процесом з дискретним часом. З кожним випадковим процесом $x(t)$ пов'язують одну або декілька невинуватих функцій. Такими функціями можуть бути математичне сподівання, дисперсія та автокореляційна функція.

Математичним сподіванням випадкового процесу $x(t)$ є невинуватка функція $M[x(t)]$ від часу, значення якої при кожній заданій величині параметра $t = t_i$ рівна математичному сподіванню випадково-

вої величини $x(t_i)$. Дисперсією випадкового процесу $x(t)$ є не випадкова функція $D[x(t)]$, що залежить від часу, значення якої при кожному фіксованому моменті часу $t = t_i$ рівні дисперсії $D[x(t_i)]$ випадкової величини $x(t_i)$, що розглядається в момент часу t_i .

Тому, навіть при розгляді математичного сподівання та дисперсії випадкового процесу можна бачити те, що він як би розбивається на деяку систематичну складову (середню) та випадкового відхилення від неї. При аналізі часових рядів це знаходить своє практичне вираження в представленні часового ряду $x(t)$ у вигляді суми

$$x(t) = c(t) + \eta(t),$$

де, $c(t)$ – деяка не випадкова функція часу; $\eta(t)$ – послідовність випадкових величин з нульовою середньою та дисперсією $D[\eta(t)]$.

Функцію $c(t)$, що характеризує частину часового ряду є трендом. Складову $\eta(t)$, яка відповідає відхиленням від тренда, обумовлених впливом на процес будь-яких випадкових факторів, назвемо випадковим компонентом часового ряду $x(t)$.

Якщо послідовність $\eta(t)$ - це ряд незалежних випадкових величин, розподілених по нормальному закону, з нульовим середнім та фіксованою дисперсією σ_n^2 , тоді її називають білим гаусівським шумом.

При аналізі часових рядів часто виникає необхідність оцінити залежність показника, що досліджується, $x(t)$ від його значень, що розглядаються з деякою затримкою в часі. Для отримання числової характеристики такої внутрішньої залежності розраховують взаємну кореляційну функцію між рядом $x(t)$ та цим же рядом, що зсунуті в часі на величину τ . Така функція називається автокореляційною. Її оцінка розраховується за формулою

$$r_n(\tau) = \frac{1}{\sqrt{\left[(n-\tau) \sum_{i=1}^{n-\tau} x^2(t+\tau) - \left(\sum_{i=1}^{n-\tau} x(t+\tau) \right)^2 \right]}} \times \frac{(n-\tau) \sum_{i=1}^{n-\tau} x(t)x(t+\tau) - \sum_{i=1}^{n-\tau} x(t) \sum_{i=1}^{n-\tau} x(t+\tau)}{\sqrt{\left[(n-\tau) \sum_{i=1}^{n-\tau} x^2(t) - \left(\sum_{i=1}^{n-\tau} x(t) \right)^2 \right]}}$$

та характеризує внутрішню структуру часового ряду.

В аналізі випадкового компонента часових рядів важливу роль має його порівняння з добре відомою формою випадкових процесів – стаціонарних випадкових процесів.

Проте, при аналізованні сигнально-завадової обстановки частіше зустрічаються процеси, ймовірнісні характеристики яких підпорядковуються певним закономірностям та не є постійними величинами. Для їх вивчення використовується поняття стаціонарного процесу в більш широкому сенсі. Випадковий процес називається стаціонарним в широкому сенсі, якщо його математичне очікування $M[x(t)]$ постійне та автокореляційна функція $r_n(t_i, t_j)$ залежить від різниці аргументів t_i та t_j .

Нехай деякий випадковий часовий ряд (ВЧР) $X(t), t = 0, 1, \dots$ задається n - вектором власних відліків $x(0), x(1), \dots, x(n-1)$ в ретроспективі відносно поточного моменту часу $t = n-1$. При цьому його майбутній відлік $x(t)$ завчасно відомий. Дамо оцінку цього відліку як функцію деякого кінцевого числа ($M < \infty$) таких відліків:

$$\hat{\delta}(n) = y(x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-M)). \quad (1)$$

В залежності від вигляду функції у будемо мати різні варіанти оцінки прогнозування. В рамках статистичного підходу звичайно використовують критерій мінімуму середнього значення квадрату похибки прогнозування:

$$M \left[(x(n) - \hat{\delta}(n))^2 \right] \rightarrow \min.$$

Розкриємо даний критерій, при цьому його ліва частина зводиться до наступного виразу

$$M \left[x^2(n) - 2x(n)y(\dots) + y^2(\dots) \right] = \sigma_x^2 - 2y(\dots)M \left[x(n)/x(n-1), \dots, x(n-M) \right] + y^2,$$

де враховано, що

$$D[x(n)] = \sigma_x^2 = \text{const}, \quad M[x(n)] = 0,$$

а $M[x(n)/x(n-1), \dots, x(n-M)]$ – умовне математичне очікування випадкового процесу в момент часу $t = n$ в припущенні, що його значення в M попередніх моментах часу апріорі відомі. У відповідності з загальним правилом вирішення оптимізаційних задач назвемо останній вираз цільовою функцією відносно оптимізаційної змінної $y(\dots)$ та позначимо її як $J(y)$. Після цього знайдемо оптимальне значення $y(\dots)$ з умови досягнення мінімуму цільовим функціоналом:

$$y_{\text{opt}}(\dots) : J(y) \rightarrow \min.$$

$$\frac{\partial J(y)}{\partial y} = -2M \left[\begin{matrix} x(n)/x(n-1), \\ \dots, x(n-M) \end{matrix} \right] + 2y(\dots) \Big|_{y=y_{\text{opt}}} = 0.$$

Вирішуючи отримане оптимізаційне рівняння, отримуємо

$$y_{\text{opt}} = y(x(n), \dots, x(n-M)) = \hat{\delta}(n) = M[x(n)/x(n-1), \dots, x(n-M)]. \quad (2)$$

Оптимальний з точки зору мінімуму квадрату помилки $z(n) = x(n) - \hat{\delta}(n)$ прогноз у загальному випадку будується по формулі умовного математичного очікування. По визначенню умовного математичного сподівання [7] можна записати

$$\begin{aligned} & M[x(n)/x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-M)] = \\ & = \int x(n) f(x(n)/x(n-1), \dots, x(n-M)) dx(n), \\ \text{àà} & f(x(n)/x(n-1), \dots, x(n-M)) = \\ & = \frac{f(x(n), x(n-1), \dots, x(n-M))}{f(x(n-1), \dots, x(n-M))}. \end{aligned}$$

В багатьох випадках багатомірний закон розподілу ВЧР завчасно не відомий, тому вираз (2) не вдається розкрити в явному вигляді. У випадку знання точного вигляду багатомірного закону розподілу, завдання його прогнозування втрачає свою актуальність, що є прямим наслідком проблеми апіорної невизначеності. Проте, цю проблему вдається обійти, якщо використовувати спільно з (2) деяку нелінійну модель випадкового часового ряду, наприклад відомою моделлю авторегресії. Процес авторегресії M -го порядку описується наступним рекурентним виразом [4]

$$x(n) = a_1 x(n-1) + a_2 x(n-2) + \dots + a_M x(n-M) + \eta(n), \quad (3)$$

де a_1, \dots, a_M - вектор коефіцієнтів авторегресії заданого порядку $M < \infty$, $\eta(n)$ - білий гаусівський шум з нульовим математичним сподіванням $M[\eta(n)] = 0$ та постійною дисперсією $\sigma_\eta^2 = \text{const}$. При використанні авторегресійної моделі отримаємо лінійну залежність оцінки прогнозування

$$\hat{x}(n) = a_1 x(n-1) + \dots + a_M x(n-M). \quad (4)$$

Дисперсія помилки прогнозування

$$M[(x(n) - \hat{x}(n))^2] = \sigma_\eta^2 = \text{const}$$

дорівнює в зазначеному випадку дисперсії породжуючого шуму.

Перехід від (2) до (4) може бути суворо обґрунтований тільки у випадку гаусівського розподілу $f(x(0), \dots, x(n-1))$ процесу $X(t)$. Оптимальний прогноз по формулі (2) зводиться до лінійної залежності (4). У решті випадків це не так, проте для проведення практичних розрахунків перевагу віддають найчастіше лінійній моделі (3), враховуючи те, що поширення гаусівського розподілу в задачах статистичного аналізу [4, 7, 8], а також завдяки універсальному характеру авторегресивної (АР) моделі при відповідному виборі її параметрів: a_1, \dots, a_M та по-

рядку M [9], та за високі експлуатаційні властивості лінійних моделей та оцінок (4) в задачах статистичного прогнозування [10]. Так, залежність (4) легко перетворюється в рекурентний вираз для прогнозування на довільну кількість кроків l в майбутнє виду де замість відліків, які не спостерігаються $x(n+1-1), \dots, x(n)$ використовуються їх попередні оцінки прогнозування на менше число кроків до $l-1$ включно:

$$\begin{aligned} \hat{\delta}(n) &= a_1 x(n-1) + \dots + a_M x(n-M), \\ \hat{\delta}(n+1) &= a_1 \hat{\delta}(n) + a_2 x(n-1) + \dots + a_M x(n+1-M), \\ \hat{\delta}(n+2) &= a_1 \hat{\delta}(n+1) + a_2 \hat{\delta}(n) + a_3 x(n-1) + \dots + a_M x(n+2-M), \\ &\dots \\ \hat{\delta}(n+l) &= a_1 \hat{\delta}(n+l-1) + \dots + a_1 \hat{\delta}(n) + a_{l+1} x(n-1) + \dots + a_M x(n+l-M). \end{aligned} \quad (5)$$

Спираючись на вирази (4) та (5) зведемо вирішувему задачу оптимізації прогнозу $\hat{\delta}(n)$ до оптимізації вектора її параметрів $\bar{a} = (a_1, \dots, a_M)^T$. За критерієм мінімуму середнього квадрату помилки отримаємо:

$$\begin{aligned} \hat{x}(n)_{\text{opt}} &: M \left[\left(x(n) - \sum_{i=1}^M a_i x(n-i) \right)^2 \right] = \\ &= M \left[\left(x(n) - \bar{a}^T \bar{x}_M \right)^2 \right] = \\ &= M \left[x^2(n) - 2\bar{a}^T \bar{x}_M x(n) + \bar{a}^T \bar{x}_M \bar{x}_M^T \bar{a} \right] = \\ &= \sigma_X^2 - 2\bar{a}^T M[x(n)\bar{x}_M] + \bar{a}^T M[\bar{x}_M \bar{x}_M^T] \bar{a} = \\ &= \sigma_X^2 - 2\bar{a}^T \bar{k}_M + \bar{a}^T K_{M \times M} \bar{a} = \sigma_Z^2(\bar{a}) \rightarrow \min, \end{aligned}$$

де $\bar{x}_M = \text{col}(x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-M))$ - вектор-стовбець послідовності відліків часового ряду, $\bar{k}_M = M[x(n)\bar{x}_M]$ - вектор-стовбець коефіцієнтів автокореляції, $K_{M \times M} = M[\bar{x}_M \bar{x}_M^T]$ - автокореляційна матриця процесу $X(t)$ розміром $M \times M$. Оптимальний прогноз відбувається при використанні в (4) оптимального вектора параметрів, що відповідають системі з M оптимізаційних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_Z^2}{\partial a_1} = 0; \\ \vdots \\ \frac{\partial \sigma_Z^2}{\partial a_M} = 0, \end{cases}$$

або у матричному вигляді:

$$\text{grad } \sigma_z^2(\bar{a}_{\text{opt}}) = \bar{0};$$

$$0 - 2\bar{k}_M + 2K_{M \times M} \bar{a}_{\text{opt}} = 0.$$

Вирішуючи наступне рівняння, отримаємо

$$\bar{a}_{\text{opt}} = K_{M \times M}^{-1} \bar{k}_M. \quad (6)$$

Отриманий вираз має назву рівняння Юла-Уокера [9] та визначає оптимальне в розумінні мінімуму дисперсії помилки прогнозування значення вектора коефіцієнтів \bar{a} в лінійній оцінці прогнозування (4). Видно, що її значення залежить виключно від кореляційних властивостей аналізованого часового ряду $X(t)$. Проте, при проведенні перерахунків до результуючої помилки прогнозування похибки оцінювання АР-коефіцієнтів багатократно підсилюються, особливо при великому порядку АР-моделей.

Тому такі відомі методи авторегресивного аналізу, як метод найменших квадратів, Блекмана-Тьюкі та інші, досить ефективні при інших обставинах, стосовно задач прогнозування часто не забезпечують прийнятних для проведення практичних розрахунків результатів. Зроблений висновок суворо обґрунтований в законі “великого параметру” [11]: сфера використання адаптивного підходу в класичній інтерпретації обмежується колом задач, в яких відношення $N/M \gg 1$, тобто при досить великих об'ємах спостережень. Нажаль не всі задачі, особливо задачі аналізу складної сигнально-завадової обстановки, відповідають заданій вимозі. Для багатьох задач характерним є протилежний випадок $N/M \leq 10$ [12, 13]. По-перше, число спостережень обмежено кінцевою довжиною інтервалів стаціонарності інформаційних процесів. По-друге, порядок АР-моделей (3) примусово встановлюють заздалегідь великим, щоб врахувати всі основні діючі в реальних процесах закономірності [9]. Проблема пошуку оптимального прогнозу таким чином переходить до зовсім іншої площини: оскільки в асимптотиці, тобто при нескінченному об'ємі вибірки спостережень, всі відомі методи дають однакові оцінки коефіцієнтів авторегресії, то основна відмінність між методами полягає в їх швидкодії або швидкості збіжності вибіркового оцінок до їх дійсних значень. У вказаних умовах необхідний інший підхід, принципово націлений на обробку кінцевих масивів даних. Такий підхід існує в інформаційній теорії адаптивного спектрального оцінювання випадкових процесів та полів, побудованих навколо принципу мінімаксу ентропії спостережень [12].

Повернемося до вихідного рівняння авторегресивної моделі (3) та перепишемо його в інверсному вигляді:

$$\eta(n) = x(n) - \sum_{i=1}^M a_i x(n-i). \quad (7)$$

Отримане рівняння можна розглядати як лінійне перетворення випадкового процесу $X(t)$ в “білий” або незалежний шум $\eta(t)$. Перетворення такого роду називається “обіленням” або деко реляцією випадкових процесів [13]. Практичною реалізацією декореляції служить лінійний обілюючий фільтр. В контексті сказаного рівняння (7) описує динаміку трансверсального обілюючого фільтру M -го порядку з постійними коефіцієнтами a_1, \dots, a_M . Задати такий фільтр - це значить задати його вектор вагових коефіцієнтів. С іншої сторони, задаючись обілюючим фільтром визначеної структури (7), одночасно будемо мати відповідний варіант прогнозу (4). Тому задача прогнозування в виразах (4)-(6) може бути зведена до еквівалентної задачі пошуку оптимальної структури обілюючого фільтру (7). В умовах апріорної невизначеності відносно дійсних параметрів АР-моделі (3) необхідний обілюючий фільтр повинен бути виконаний в адаптивному варіанті, що припускає заданий алгоритм налаштування його параметрів a_1, \dots, a_M по наявній вибірці спостережень. В основі таких алгоритмів використовуються різноманітні методи стохастичної апроксимації [14, 15].

Причому перевага віддається методам з удосконаленими динамічними властивостями, що орієнтовані на обробку невеликих масивів даних. Найбільш визначні результати в цьому перспективному науковому напрямку досягнуті в галузі синтезу та аналізу адаптивних методів нелінійного спектрального оцінювання [39]. Розроблені в рамках універсального теоретико-інформаційного підходу методи авторегресивного аналізу, такі як методи лінійного передбачення, максимальної ентропії, максимальної правдоподібності та інші, використовують обілюючий фільтр в якості ключового ланцюга адаптивної обробки інформації. За своїми швидкісними характеристикам вони набагато перевищують класичний метод найменших квадратів. Запишемо рівняння стохастичної апроксимації в такому вигляді

$$\mathfrak{R}_a^{(M)} = \bar{k}_M + K_{M \times M} \bar{a}_M, \quad (8)$$

розкриваючи в ньому кореляційні величини, позначаючи $\bar{x}_M(n) = \text{col}\{x(n-i), i = \overline{1, M}\}$, отримаємо

$$\begin{aligned} M \left[\bar{x}_M(n)x(n) + \bar{x}_M(n) \bar{x}_M^T(n) \bar{a}_M \right] = \\ = M \left[\mathfrak{Z}_a(n) \right] = \bar{0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Виникає класична задача стохастичної апроксимації: в результаті послідовних наближень (ітерацій) $\bar{a}_M(1), \bar{a}_M(2), \dots$ знайти \bar{a}_{opt} – оптимальний вектор, що відповідає рівнянню (6). Для його вирішення можна використати такий рекурентний алгоритм

$$\bar{a}_M(n+1) = \bar{a}_M(n) + \lambda_n \left[\mathfrak{R}_a^{(M)} - \mathfrak{Z}_a(n) \right], \quad (10)$$

де λ_n - в загальному випадку змінний крок ітерацій. Підставляючи в (10) визначення векторних величин з (8) та (9) отримуємо:

$$\bar{a}_M(n+1) = \bar{a}_M(n) + \lambda_n \bar{x}_M(n) z_M(n), \quad (11)$$

де $z_M(n) = x(n) + \bar{a}_M^T(n) \bar{x}_M(n)$, $n = 0, 1, \dots$ - помилка лінійного передбачення в дискретному часі n .

Отриманий результат визначає знаходжуємий алгоритм роботи фільтру помилки передбачення. При виконанні визначених умов [12] при виборі кроку ітерацій забезпечується асимптотична збіжність наближення (11) до оптимального рішення (6) з ймовірністю близькою до одиниці. Вказаним умовам відповідає, наприклад, гармонічна змінна $\lambda_n = 1/(n+1)$, $n = 0, 1, \dots$, що відповідає найкращому алгоритму з точки зору досягаємої швидкості його збіжності. В іншому можливому та найбільш простому в реалізації варіанті вибору кроку ітерації $\lambda_n < \text{tr}^{-1} K_{M \times M} = \text{const}$, де $\text{tr}(\cdot)$ - сума діагональних елементів квадратної матриці автоковаріації, що забезпечує швидкість збіжності алгоритму (11) в середньоквадратичному сенсі. Такий підхід реалізований у відомому методі максимальної ентропії (Берга) [16]. Його центральним ланцюгом є решітчастий фільтр лінійного передбачення M -го порядку. Динаміка фільтру описується рекурентним виразом

$$z_m^f(n) = z_{m-1}^f(n) + \rho_m z_{m-1}^b(n-1); \quad (12)$$

$$z_m^b(n) = z_{m-1}^b(n) + \rho_m z_{m-1}^f(n), m = 1 \dots M, \quad (13)$$

де ρ_1, \dots, ρ_M - коефіцієнти відбиття решітчастого фільтру, $z_i^f(n), z_i^b(n), i = \overline{1, M}$ - значення помилок лінійного передбачення вперед та назад відповідно. При цьому початкові значення помилок лінійного передбачення (помилки нульового порядку) прирівнюються самому сигналу $z_0^f(n) = z_0^b(n) = x(n)$.

До переваг решітчастого фільтру можна віднести малу чутливість до шуму округлення та їх флуктуаціям (випадковим збуренням) значень коефіцієнтів [17]. Крім того, помилки передбачення назад на виході кожної ступені взаємно ортогональні. Ідея алгоритму Берга зводиться до мінімізації арифметичного середнього квадрату помилок лінійного передбачення вперед та назад при кожному значенні порядку m .

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N |z_m^f(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N |z_m^b(n)|^2 \right]. \quad (14)$$

Результатом мінімізації є вираз для оцінки коефіцієнтів відбиття по методу найменших квадратів:

$$\rho_m = \frac{-2 \sum_{n=m+1}^N z_{m-1}^f(n) z_{m-1}^b(n-1)}{\sum_{n=m+1}^N |z_{m-1}^f(n)|^2 + \sum_{n=m+1}^N |z_{m-1}^b(n-1)|^2}. \quad (15)$$

Дана оцінка коефіцієнта відбиття представляє собою гармонічне середнє коефіцієнтів частотної кореляції помилок передбачення вперед та назад. Після визначення коефіцієнтів відбиття використовуємо алгоритм Левінсона, що зв'язує коефіцієнти авторегресії порядку m та порядку $m-1$:

$$a_m(k) = a_{m-1}(k) + \rho_m a_{m-1}(m-k), 1 \leq k \leq m-1,$$

причому, по властивостям коефіцієнтів авторегресії нульовий коефіцієнт завжди рівний одиниці. Як висновок, можемо записати узгодження дисперсії вхідного сигналу $X(t)$ та породжуючого шуму $\eta(t)$ ^

$$\sigma_\eta^2 = \prod_{m=1}^M (1 - \rho_m^2) \sigma_x^2. \quad (17)$$

Сукупність виразів (12)-(17) складають метод Берга. Проаналізуємо вирази (12) та (13), що описують динаміку решітчастого фільтру у випадку кінцевої вибірки спостережень $N < \infty$. Враховуючи відоме [6] відношення для дисперсій отримуємо

$$\sigma_M^2(N) = \sigma_{M_{\min}}^2 + \sum_{m=1}^M \frac{\sigma_{m-1}^2 (1 - \rho_m^2)}{N}. \quad (18)$$

У свою чергу дисперсія породжуючого шуму в АР-моделі спостережень (3) у відповідності з (17) рівна

$$\sigma_\eta^2(N) = \sigma_x^2 \prod_{m=1}^N \left(\frac{N-1}{N} (1 - \rho_m^2) - \frac{2\rho_m^2}{N} \right). \quad (19)$$

У випадку слабкокорельованого процесу $\rho_m \ll 1$ величиною $2\rho_m^2/N$ можна знехтувати. Таким чином в першому наближенні отримаємо наступні вирази для залежності дисперсії породжуючого шуму від об'єму вибірки спостережень

$$\sigma_\eta^2(M, N) = \left(1 - \frac{1}{N} \right)^M \sigma_{M_{\min}}^2. \quad (20)$$

Врахуємо при цьому, що виходячи з властивостей компенсуючого фільтру решітчастої структури [6] та виразу (17), отримаємо наступні співвідношення для дисперсій некомпенсованого

$$\sigma_{M1_{\min}}^2 \geq \sigma_{M2_{\min}}^2 \quad \forall M_2 > M_1.$$

Також тривалість перехідного процесу (швидкість збіжності оцінок) залежить від обраного порядку фільтру. Фільтр більш складної структури більш вимогливий до об'єму вибіркового даних, тобто швидкість збіжності вибіркового оцінок до невідомих істинних значень нижче. Факт наявності перехідного процесу говорить про те, що для випадку кінцевих вибірок спостереження оцінка вектора авторегресії, а разом з нею та лінійна оцінка прогнозування, не можуть бути оптимальними.

Висновки

1. В роботі проведений аналіз методів прогнозування сигнально-зададової обстановки в системах МІМО безпілотних авіаційних комплексів.

При малих значеннях порядку використовуємої авторегресійної моделі швидкість збіжності її параметрів до своїх істинних значень максимальна, тобто для адаптації моделі достатньо невеликого об'єму вибірки. Проте використання малого порядку моделі може призвести до отримання оцінки прогнозування, точність якої буде заздалегідь нижче, потенційно досяжної у даних умовах. Вибір порядку АР-моделі напряму пов'язаний зі складністю аналізуемого часового ряду, з наявністю в ньому кореляційних залежностей високого порядку.

2. Великий порядок моделі дозволяє врахувати більше число кореляційних залежностей, проте в даних умовах пропорційно зростають вимоги до об'єму вибіркового даних. Збільшуючи до нескінченності об'єм аналізуємої вибірки є ризик не отримати більш об'єктивних оцінок кореляційних властивостей, але й отримати результати що не відображають станів часового ряду.

3. При рішення задачі прогнозування необхідно виходити з наявності для аналізу кінцевої вибірки спостережень, враховувати динамічні властивості алгоритму оцінювання авторегресивних коефіцієнтів (з оптимальністю лише в асимптотиці), та в принципово обмежену точність оцінок прогнозування, яка істотно нижче теоретично досяжної.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики прогнозування сигнально-завадової обстановки каналів управління та передачі даних безпілотних авіаційних комплексів з МІМО.

Список літератури

1. *Proceedings of 12 th International Conference & Exhibition UAS, Paris, France. 2010 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uas2011.org/>.*
2. *Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик / В.М. Илюшко, М.М. Митрахович, А.В. Самков, В.И. Силков, О.В. Соловьев, В.И. Стрельников. Под общ.*

- ред. В.И. Силкова. - К.:ЦНИИ ВВТ ВСУУкраины, 2009. – 302 с.*
3. *Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов. - М.: Мир, 1976. – 756 с.*
4. *Бриллинджер Д. Временные ряды. – М.: Мир, 1980. – 536 с*
5. *Савараги Е., Созда Т., Накимозо Т. "Классические" методы и оценивание временных рядов. – М.: Мир, 1983.*
6. *Савченко В.В. Обнаружение и прогнозирование разладки случайного процесса на основе спектрального оценивания // Автометрия, 1996. – № 2. – С. 77-84.*
7. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. вентцель. – М.: Высшая школа., 2002. – 275 с.*
8. *Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования / Ю.П. Лукашин. – М.: Статистика, 1979. – 254 с.*
9. *Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с*
10. *Лукашин Ю.П. Анализ временных рядов по методу авторегрессии скользящей средней. Статистические методы анализа (алгоритмы и программы). М.: ИМЭМО АН СССР, 1975, вып 5.*
11. *Макхол Дж. Линейное предсказание: Обзор // ТИИЭР. – 1975. – Т. 63. – С. 20-44*
12. *Савченко В.В. Адаптивные методы спектрального оценивания на основе принципа минимакса энтропии: автореф. дисс. ... д.т.н. (Нижегородский гос. техн. университет). Н.Новгород, 1993.*
13. *Адаптивные фильтры / Под. ред. К.Ф. Коузена, П.М. Гранта: Пер. с англ. – М.:Мир, 1988. – 388 с.*
14. *Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. – 399 с.*
15. *Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1970.*
16. *Burg J.P. Maximum Entropy Spectral Analysis, Ph.D. Dissertation. Department of Geophysics, Stanford University, Stanford, Calif, May 1975.*
17. *Фридландер Б. Решетчатые фильтры для адаптивной обработки данных // ТИИЭР. – 1982. – Т. 70. – № 9. – С. 95-125.*

Надійшла до редколегії 15.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ МІМО БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

С.Н. Петрук

В статье проведен анализ известных методов прогнозирования случайного временного ряда, который взят за основу для описания сигнально-помеховой обстановки в системах МІМО беспилотных авиационных комплексов. Проведено постановку и решение задачи оптимального прогнозирования случайного временного ряда и разработан алгоритм оценивания АР-параметров на основе метода максимальной энтропии.

Ключевые слова: беспилотные авиационные комплексы, сигнально-помеховой обстановка, прогнозирование, каналы управления и передачи данных, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление.

ANALYSIS OF METHODS OF PREDICTING SIGNAL-TO-INTERFERENCE CONDITION IN THE MIMO SYSTEM UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

S.N. Petruk

In the article was made analysis of famous methods of predicting random time series, which taken as a basis for describing the signal-to-interference condition in the MIMO system unmanned aircraft systems. Was made formulation and solution of the optimal prediction of random time series and developed an algorithm for estimation of AR-parameters based on the method of maximum entropy.

Keywords: unmanned aviation complex, signal-code construction, predicting, control channels and data transmission, bit error probability, radio-electronic suppression.

Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ

МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОЛЬОВИХ РЕМОНТНИХ ОРґАНІВ ЗВ'ЯЗКУ

В статті на основі аналізу стану матеріально-технічної бази з ремонту військової техніки зв'язку сформульовано перспективні напрямки розвитку та етапи розробки апаратних технічного забезпечення модульного типу для обслуговування і ремонту військової техніки зв'язку в польових умовах; на основі експертного дослідження з ранжування військової техніки зв'язку за ознаками масовості, надійності і важливості визначено необхідність розробки нагальних спеціалізованих модулів перспективних апаратних технічного забезпечення; обґрунтовано цільову функцію використання в мирний та військовий час цих апаратних, а також запропоновано метод обґрунтування технологічного обладнання польових ремонтних органів зв'язку за типами техніки зв'язку з використанням комплексного показника, що враховує кількість, надійність та місце застосування цієї техніки в системі спеціального зв'язку.

Ключові слова: військова техніка зв'язку, апаратні технічного забезпечення модульного типу, цільова функція, технологічне обладнання польових ремонтних органів зв'язку.

Вступ

Постановка проблеми. Технологічне обладнання польових ремонтних органів зв'язку, що використовують під час навчання або бойових дій, розташовано в апаратних технічного забезпечення (АТЗ), які призначені для технічного обслуговування, поточного ремонту і відновлення військової техніки зв'язку (ВТЗ) зі слабким ступенем пошкодження в польових умовах з необхідною якістю за встановлений час. Під технологічним обладнанням польових ремонтних органів зв'язку розуміють мінімально необхідний комплект інструменту, засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), додаткові пристрої для автономного ремонту окремих блоків ВТЗ з джерелами електроживлення. Комплектування польових вузлів зв'язку використовують, як правило, виходячи із можливостей органу постачання без врахування реальних потреб в наявності конкретного технологічного обладнання ремонту. Тому виникає проблема наукового обґрунтування методу забезпечення ремонтних органів польових вузлів мінімально необхідним комплектом технологічного обладнання ремонту для забезпечення заданого рівня укомплектованості польового вузла зв'язку ВТЗ за рахунок її відновлення в процесі ремонту.

Аналіз літератури. Під час створення і прийняття на озброєння нових зразків ВТЗ виконують розробку відповідних АТЗ для їх обслуговування і ремонту в польових умовах.

Розрізняють АТЗ спеціалізовані, універсальні і модульного типу. В теперішній час використовують більше тридцяти типів АТЗ, які призначені для обслуговування і ремонту старого парку ВТЗ і потребують заміни. Різноманітність існуючих зразків ВТЗ, що відрізняються схемною і конструктивною

побудовою, веде до розширення номенклатури АТЗ внаслідок їх вузької спеціалізації [1–4].

Аналіз вимог керівних і нормативних документів щодо організації ремонту ВТЗ показує необхідність створення перспективних АТЗ з урахуванням сучасних досягнень в галузі технічної діагностики складних об'єктів і систем [4 – 7]. Ця обставина пояснюється потребою впровадження в практику ремонту ВТЗ агрегатного методу, врахування можливості отримання аварійних і бойових пошкоджень, групового характеру відновлення, використання ефективних процедур діагностування, переходу на модульний принцип побудови сучасних АТЗ [1 – 7]. У відомих публікаціях питання черговості розробки модулів, а також комплектування ремонтних органів польових вузлів зв'язку спеціалізованими АТЗ не розглянуто. **Мета статті** – розробка методу обґрунтування складу технологічного обладнання спеціалізованих модулів перспективних АТЗ для обслуговування і ремонту сучасних ВТЗ.

Основна частина

Виходячи з призначення АТЗ, умов їхнього використання і аналізу ремонтного фонду ВТЗ можна зробити висновок, що задача проектування перспективних АТЗ для мирного часу зводиться до задоволення цільової функції

$$C(X) = \min_{X^* \in \Delta} C(X^*),$$

де $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ – вектор параметрів системи технічного обслуговування і ремонту; $C(X)$ – вартість одиничного ремонту; X^* – значення вектору при рішенні задачі оптимізації, коли $X^* \in \Delta$; Δ – множина допустимих значень параметрів.

Як основне обмеження використовується середній час відновлення ВТЗ $T_B \leq T_{ВД}$, допустиме значення якого задається у відповідності з вимогами до ремонтпридатності техніки зв'язку, яка створюється або модернізується.

Крім того, накладаються обмеження на кількість фахівців з обслуговування та ремонту, обсягу запасних частин і приладдя, номенклатури ЗВТ, вагу технологічного устаткування, ступінь пошкодження ВТЗ [3, 4].

Під час ведення бойових дій значно зростає потік ремонтного фонду $\Pi(X)$ і потрібна максимальна інтенсивність відновлення ВТЗ

$$\Pi(X) = \max_{X^* \in \Delta} \Pi(X^*),$$

при збільшенні пропускної спроможності – кількості відновлених зразків техніки зв'язку за одиницю часу

$$\mu(X) = \max_{X \in \Delta} \sum_{i=1}^{\tau} N_i(X^*) / \sum_{i=1}^{\tau} T_i(X^*),$$

де $\mu(X)$ – інтенсивність відновлення ВТЗ, од./год.,

N_i – кількість відновлених комплектів ВТЗ виду i , од., τ – кількість відновлених типів ВТЗ, од., T_i – середній час відновлення ВТЗ виду i , год.

У цільовій функції розглядається середнє значення інтенсивності відновлення за всіма типами ВТЗ при отриманні ними бойових пошкоджень, яка ремонтується в АТЗ

$$\Pi(X) = \tau / \sum_{i=1}^{\tau} T_i(X).$$

Задача вирішується при обмеженнях на вартість відновлення, час роботи майстрів збільшується, а інші обмеження відповідають мирному часу.

При переході з мирного на військовий час комплектація АТЗ не змінюється, тому необхідний пошук компромісного рішення за рахунок підвищення кваліфікації майстрів, якості діагностичного забезпечення, використання сучасних ЗВТ, переходу на модульний принцип побудови. Загальні технічні вимоги до рухомих майстерень та методи їх випробовувань визначені у [8, 9]. Аналіз існуючого парку АТЗ показує, що перспективним напрямком переоснащення виробничої бази ремонтних органів є не розширення номенклатури АТЗ, а розробка і впровадження модульного принципу їх побудови, що дозволяє усунути протиріччя між необхідністю підвищення пропускної спроможності і обслуговуванням та ремонтом ВТЗ старого і нового парку [1, 4].

Передбачається поступовий перехід у міру вироблення ресурсу та списання існуючих АТЗ до єдиного модульного типу, що складається з постійної та змінної частини. Постійна частина не залежить від типу ВТЗ та базується на засобі рухомості і містить системи життєзабезпечення й електроживлення, робочі місця з мінімальним комплектом універсальних ЗВТ і інструмента.

Змінні частини являють собою модулі типових розмірів легкоз'ємної конструкції з можливістю установки і фіксації на робочих місцях. Під модулем розуміється сукупність сервісних ЗВТ, технологічного обладнання, документації, мінімально необхідного комплексу ЗІП для роботи з визначеним типом ВТЗ в польових умовах. При зміні об'єкта екіпаж встановлює комплект необхідних модулів.

Створення АТЗ модульного типу вимагає вирішення ряду конкретних завдань [4]:

визначення переліку базових зразків ВТЗ і порядку створення відповідних модулів;

вибір типу транспортної бази й агрегату електроживлення;

визначення кількості робочих місць і спеціальностей екіпажу;

компонування робочих місць в апаратній;

визначення типорозмірів модулів;

обґрунтування переліку універсальних ЗВТ та технологічного обладнання постійної частини;

комплектування модулів для обраних типів ВТЗ;

розгляд можливості створення в базовій частині елементів системи підтримки прийняття рішення на базі спеціалізованих комп'ютерів.

Розглянемо можливість вирішення першого з перелічених завдань.

Метод призначений для наукового обґрунтування формалізації процесу розробки першочергових за необхідністю використання спеціалізованих модулів перспективних АТЗ або обґрунтування комплектації польових вузлів зв'язку існуючими спеціалізованими АТЗ. Структура методу приведено на рис. 1.

Спеціалізовані змінні модулі доцільно проектувати для 15 типів ВТЗ у відповідності до вимог Керівництва з технічного забезпечення засобів зв'язку. Під час визначення порядку їх розробки необхідно врахувати наступні обставини:

призначення ВТЗ в системі зв'язку;

кількість даного типу ВТЗ на польових вузлах зв'язку;

технічну надійність зразків ВТЗ.

Вочевидь, що в першу чергу необхідно створювати і впроваджувати у практику ремонту спеціалізовані модулі для найбільш масових, найменш надійних і найбільш важливих ВТЗ, які застосовуються для організації зв'язку. Пропонується виконати ранжування ВТЗ у порядку зменшення значення їхнього комплексного коефіцієнта

$$W_I = K_B R_{B_I} + K_H R_{H_I} + K_M R_{M_I},$$

де K_B – коефіцієнт важливості; K_H – коефіцієнт надійності; K_M – коефіцієнт масовості; R_{B_I} – ранг ВТЗ типу I з важливості; R_{H_I} – ранг ВТЗ типу I з надійності; R_{M_I} – ранг ВТЗ типу I з масовості.



Рис. 1. Структура методу обґрунтування розробки першочергових спеціалізованих модулів апаратних технічного забезпечення військової техніки зв'язку

Визначення вагових коефіцієнтів K_B, K_H, K_M виконано на основі використання методів теорії нечітких множин експертним опитуванням провідних фахівців у галузі спеціального зв'язку. Це пов'язано з тим, що інформація, яку вдається отримати, як правило є неповною і не завжди точною, тобто невизначеною [10, 11]. У такому випадку після нормування оцінок експертів математичне сподівання (M), середньоквадратичне відхилення (σ) і варіація (v) значень вагових коефіцієнтів дорівнюють:

$$M_B = 0,5057; M_H = 0,3033; M_M = 0,1910;$$

$$\sigma_B = 0,0568; \sigma_H = 0,0474; \sigma_M = 0,0488;$$

$$v_B = 0,1125; v_H = 0,1561; v_M = 0,2557,$$

що достатньо для обґрунтування числового значення вагових коефіцієнтів [11, 12].

Остаточо вибираємо значення вагових коефіцієнтів $K_B = 0,5$; $K_H = 0,3$; $K_M = 0,2$, при цьому K_B відрізняється від M_B всього на 1,1%, K_H від M_H – на 1,08%, K_M від M_M – на 4,7%. Оскільки ці значення потрапляють в область відхилення від математичного сподівання не більше, ніж на σ , то з довірчою ймовірністю $P = 0,97$ можна стверджувати про правильність прийняття рішення:

$$W_i = 0,5R_{B_i} + 0,3R_{H_i} + 0,2R_{M_i}.$$

Ранжування груп ВТЗ за результатами аналізу вимог щодо їхньої надійності і організаційно-штатної структури польових вузлів зв'язку дає об'єктивну оцінку доцільності розробки спеціалізованих модулів перспективних АТЗ, причому надійність оцінюють за показниками T – напрацювання на відмову, T_v – середній час відновлення, A – коефіцієнт готовності ВТЗ. Ця оцінка залежить від

кількості і кваліфікації фахівців, тому є достатньо суб'єктивною.

Узагальнена блок-схема алгоритму реалізації методу приведена на рис. 2. Розглянемо його експериментальну перевірку на прикладі обґрунтування даних, наведених в табл. 1. За результатами аналізу наявної структури визначається кількість ВТЗ кожної групи і проводиться їх ранжування в порядку збільшення. Потім при наявності реальних статистичних даних про надійність окремих зразків ВТЗ, а при їх відсутності за необхідними значеннями, виконується розрахунок комплексного показника надійності A .

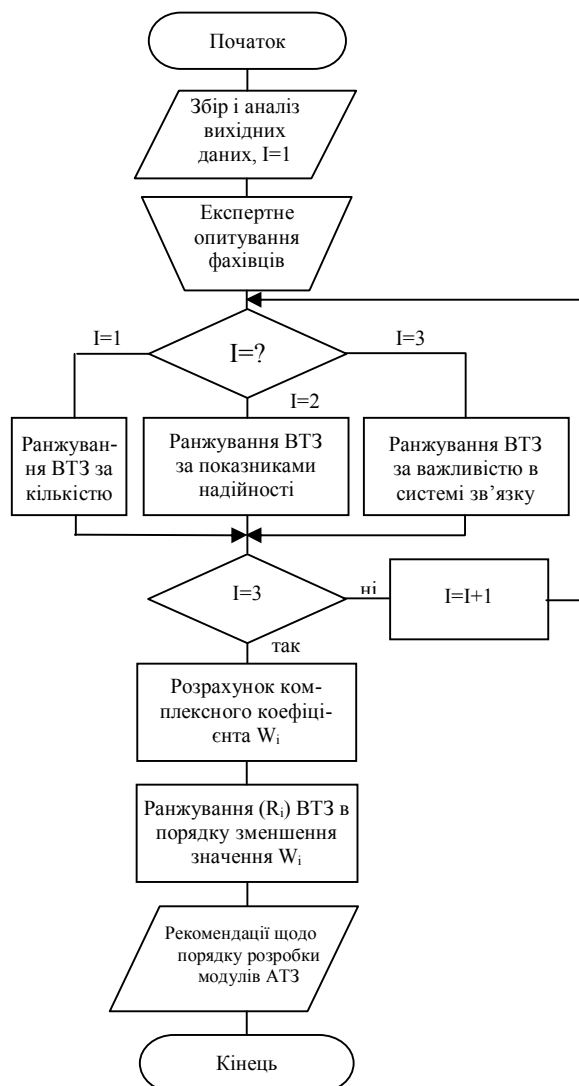


Рис. 2. Узагальнена блок-схема алгоритму реалізації методу обґрунтування складу технологічного обладнання польових ремонтних органів зв'язку

Визначення першочерговості розробки спеціалізованих змінних модулів

№ типу ВТЗ	Тип ВТЗ	Ранжирування по ознакам			W _i	R _i
		Масовість	Надійність	Важливість		
		Ранг R _м	Ранг R _н	Ранг R _в		
1	Станції космічного зв'язку	1	9	11	8,4	10
2	Радіостанції:					
	великої потужності;	2	8	11	8,3	11
	середньої потужності.	17	8	11	11,3	2
3	Радіостанції малої потужності:					
	возимі;	23	4	2	6,8	17
	носимі;		12	2	9,2	4
	портативні.		4	2	6,8	17
4	Багатоканальні станції:					
	тропосферні;	8	6	8	7,4	15
	радіорелейні.	13	3	8	7,5	14
5	Малоканальні станції:					
	тропосферні;	5	7	9	7,6	13
	радіорелейні.	15	5	9	9,0	6
6	Апаратні (апаратура) ущільнення	20	2	8	8,6	8
7	Апаратні:					
	дистанційного керування;	5	11	6	7,3	16
	частотно-диспетчерської служби;	3	1	6	3,9	25
	окремі прийомні машини.	11	10	5	7,7	12
8	Командно-штабні машини:	19	11	3	8,6	8
	машини автоматизованого управління	7	11	3	6,2	19
9	Спеціальна апаратура (апар.) засекречування	18	6	10	10,4	3
10	Автоматичні телефонні станції:	4	2	7	4,9	23
	кросові апаратні;	11	2	7	6,3	18
	телефонні апаратні;	14	2	7	6,9	16
	телеграфні апарати.	9	2	7	5,9	21
11	Обчислювальні комплекси і АП	7	9	4	6,1	20
12	Станції електроживлення:	9	14	11	11,5	1
	рухомі зарядні бази;	6	11	2	5,5	22
	АТЗ;	10	11	7	8,8	7
	комплекси засобів механ. прокладки кабелю	12	13	1	6,8	17
13	Окремі букводрукуючі і слухові радіоприймачі	16	2	2	4,8	24
14	Польовий кабель (км):					
	дальнього зв'язку;	21	1	8	8,5	9
	легкий ПКС.	24	1	8	9,1	5
15	Кінцеві абонентські пристрої і апаратура	22	2	7	8,5	9

За результатами експертного опитування фахівців визначається важливість ВТЗ в системі зв'язку у вигляді суми балів з наступним ранжуванням.

Узагальнені результати розрахунків представлені в табл. 1 і дозволяють обґрунтувати рекомендації щодо створення першочергових спеціалізованих модулів перспективних АТЗ ВТЗ, які полягають у наступному:

в забезпеченні ремонтних органів перспективними АТЗ з модулями для обслуговування і ремонту станцій електроживлення, радіостанцій середньої потужності і апаратури засекречування;

в доцільності укомплектування АТЗ модулями для обслуговування і ремонту радіостанцій малої потужності, польового кабелю і радіорелейних станцій;

у необхідності комплектування ремонтних органів відповідними спеціалізованими або універсальними АТЗ при відсутності модульних АТЗ.

Висновки

1. Використання методу дозволяє визначити доцільність застосування тієї чи іншої АТЗ в даному конкретному випадку.

2. На основі розробленого методу запропоновано етапи розробки АТЗ модульного типу для обслуговування і ремонту ВТЗ в польових умовах та обґрунтовано порядок першочерговості створення модулів з технологічним обладнанням для перспективних АТЗ ВТЗ.

3. Метод можливо використовувати під час створення або модернізації польових ремонтних органів інших видів озброєння та військової техніки. **Наукова новизна** запропонованого методу полягає в тому, що вперше обґрунтовані вагові коефіцієнти важливості, надійності і масовості ВТЗ та у впровадженні комплексного коефіцієнту для визначення першочерговості розробки спеціалізованих модулів АТЗ.

Достовірність наукового результату забезпечується:

врахуванням факторів, що впливають на розв'язання завдання формування першочерговості розробки модулів АТЗ;

коректним використанням вихідних даних, отриманих з реальних умов експлуатації ВТЗ;

обґрунтованим вибором припущень і обмежень, які відповідають особливостям функціонування ремонтних органів в польових умовах.

Достовірність підтверджується збігом отриманих результатів з практичним впровадженням, а також тим, що отримані результати мають зрозуміле фізичне трактування та не суперечать відомим даним.

Список літератури

1. Рыжаков В.А. Перспективні напрямки досліджень удосконалення системи технічного забезпечення військової техніки зв'язку / В.А. Рыжаков // Збірник наукових праць КВІУЗ. – Вип. № 1. – К.: КВІУЗ. – 2001. – С. 136–139.
2. Міценко О.Г. Забезпечення ремонту військової техніки зв'язку агрегатним методом / О.Г. Міценко // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – Вип. № 2. – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2002. – С. 68–70.
3. Павлов В.П. Класифікація апаратних технічного забезпечення / В.П. Павлов // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – Вип. № 2. – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2002. – С. 87–92.
4. Павлов В.П. Обґрунтування рекомендацій по розробці апаратних технічного забезпечення модульного типу / В.П. Павлов // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – Вип. № 4. – К.: ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2003. – С. 93–97.
5. Рыжаков В.А. Выбор стратегии восстановления работоспособности техни-ки связи с аварийными повреждениями / В.А. Рыжаков, Л.Н. Сакович // Зв'язок. – 2005. – № 7. – С. 47–54.
6. Сакович Л.М. Моделирование процесса ремонта техники зв'язку з аварійними і бойовими пошкодженнями / Л.М. Сакович, Р.А. Бобро // Звіт про НДР "Райдуга – Д" РК 0206U003223 / Дослідження проблем ефективності технічного обслуговування і ремонту техніки зв'язку та АУВ. – К., в/ч А-0375, 2006. – С. 173–199.
7. Романенко В.П. Моделирование процесса группового поиска дефектов под час ремонту техніки зв'язку / В.П. Романенко, Л.М. Сакович // Озброєння та військова техніка. – № 4. – 2014. – С. 49–54.
8. ГОСТ В 23068-86 Мастерские подвижные ремонтные армейские. Методы испытаний. – М.: Госстандарт, 1987. – 36 с.
9. ГОСТ В 22243-90 Мастерские подвижные ремонтные армейские. Общие технические требования. – М.: Госстандарт, 1990. – 10 с.
10. Нечеткие множества и теория возможностей; пер. с англ. под ред. Р.Ф. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
11. Герасимов Б.М. Проектирование, управление и обработка информации на базе нечетких множеств / Б.М. Герасимов. – К.: Радио-аматор, 2000. – 180 с.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. вентцель. – М.: Высшая школа., 2002. – 275 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2016

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Козловський, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ.

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ РЕМОНТНЫХ ОРГАНОВ СВЯЗИ

Л.Н. Сакович, В.П. Романенко, И.Н. Гиренко

В статье на основе анализа состояния материально-технической базы ремонта военной техники связи сформулированы перспективные направления развития и этапы разработки аппаратных технического обеспечения модульного типа для обслуживания и ремонта военной техники связи в полевых условиях; на основе экспертного исследования проведено ранжирование военной техники связи по признакам массовости, надежности и важности; определена необходимость разработки первоочередных специализированных модулей перспективных аппаратных технического обеспечения; обосновано целевую функцию использования в мирное и военное время этих аппаратных, а также предложен метод разработки первоочередных по важности применения специализированных модулей с технологическим оборудованием ремонта по типам техники связи с использованием комплексного показателя, учитывающего количество, надежность и место применения этой техники в системе специальной связи.

Ключевые слова: военная техника связи, аппаратные технического обеспечения модульного типа, целевая функция, технологическое оборудование полевых ремонтных органов связи.

RATIONALE METHOD OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR COMMUNICATIONS MEANS FIELD MAINTENANCE

L.M. Sakovych, V.P. Romanenko, I.M. Hyrenko

In the article, prospective of development and stages of design of technical support modular hardware for maintenance and repair of military communications means in the field conditions, which are based on the analysis of conditions of the material-technical base for repair of military communications means, are formulated. On the basis of an expert study ranking of military communications means, which is grounded on mass, reliability, and importance of the necessity of urgent development of specialized modules, is conducted and the necessity of development of prior specialised hardware modules is determined. The objective function of this hardware usage in peace and wartime is substantiated. In addition, the method of development of priority importance usage of specialized diagnostic modules according to the types of technological communications equipment maintenance applying a complex indicator, which takes into account the quantity, reliability and application of this equipment in the special communications system, is suggested.

Keywords: military communications means, modular type hardware technical support, the objective function, technological equipment for communications means field maintenance.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Азаров С.І.	125	Лисенко Д.Е.	101	Скринник О.М.	41
Артюх Р.В.	73	Лімаренко В.В.	29	Смірнов С.А.	57
Баленко О.І.	63	Любарський Б.Г.	36	Собчак А.П.	114
Барабаш О.В.	133	Малецька О.Є.	153	Спінул Л.Ю.	41
Бердник П.Г.	7	Манько К.П.	85	Теут В.М.	129
Бурдейна В.М.	138	Мартиненко А.А.	14	Тимошук О.М.	4
Бурячок В.Л.	57	Мелешко Є.В.	48, 67	Ткачова Т.С.	94
Виходець Ю.С.	108	Мельниченко О.А.	153	Трищ Р.М.	143
Власов К.В.	81	Минько О.В.	81	Тріщ А.Р.	138
Гермак В.С.	67	Могілатенко А.С.	7	Хавіна І.П.	29
Гиренко І.М.	163	Обідін Д.М.	7	Хомік М.М.	133
Главчев М.І.	63	Обод А.І.	91	Хорошилов О.М.	138
Голян Н.В.	44	Обод І.І.	85	Хорошилов О.М.	146
Гулін О.О.	14	Оленченко В.Т.	81	Хох В.Д.	48
Гуліна І.Г.	14	Олізаренко С.А.	88	Шабанова-	
Денисенко А.М.	153	Охотний С.М.	67	Кушнарєнко Л.В.	53
Задунай О.С.	125	Павленко М.А.	7	Шабанов-	
Захарченко Р.В.	18	Пахалович М.Є.	146	Кушнарєнко С.Ю.	53
Іохов О.Ю.	81	Персіянова О.Ю.	73	Шабанов-	
Кім Н.І.	143	Петренко О.М.	36	Кушнарєнко Ю.П.	53
Кіпоренко Г.С.	146	Петрук С.М.	157	Шевяков Ю.І.	97
Коваленко А.А.	24	Попова О.І.	114	Шеффер О.В.	11
Кононов Б.Т.	21	Ровінська Н.Ю.	108	Шталтовний Д.В.	85
Косенко В.В.	73	Романенко В.П.	163	Шульга В.П.	71
Куравська Н.М.	21	Сакович Л.М.	163	Шульга О.В.	11
Кучук Г.А.	24	Свид І.В.	91	Якименко М.С.	48
Кучук Н.Г.	76	Сільвестров А.М.	41		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (40)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Ільїна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 20,1. Тираж 150 прим. Зам. 1118-16

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua