

УДК 004.8:65.05:681.5

Катков Ю.І., к.т.н.

ДИНАМІЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Katkov Yu. I. Dynamic information indicators for assessing the quality of intelligent systems.

The article deals with the essence of the concept of the quality of the work of intellectual systems and how to use dynamic information indicators of an intellectual system, which is an element of a complex organizational and technical system. As a result of the literature analysis, the basic ideas of the information approach for estimating dynamic information indicators in other areas were found. The conditions for the possibility of applying these ideas to the case of determining the quality of the work of intellectual systems under critical conditions are shown. It is shown that reorganization is a case of automation of decision making, and self-organization is a case of automatic decision-making. The mathematical modeling of the estimation of dynamic indicators of intellectual systems during reorganization or self-organization is considered. Presented are mathematical expressions for determining dynamic indicators and ways of forming information criteria from them that provide a practical opportunity to assess the quality of management of intelligent systems, taking into account the loss of information during the dynamics of changes in operating conditions of intelligent systems. The recommendations for measuring dynamic indicators of intelligent systems for minimizing the error are presented. The cases of application of mathematical models of dynamic information indicators of the intellectual system are considered.

Key words: intellectual systems, quality, information indicators of intellectual systems, reorganization, self-organization.

Катков Ю.І. Динамічні інформаційні показники якості інтелектуальних систем.

У статті розглядається сутність поняття якості роботи інтелектуальних систем та використання динамічних інформаційних показників інтелектуальної системи, яка є елементом складної організаційно-технічної системи. В результаті аналізу літератури виявлено основні ідеї інформаційного підходу для оцінки показників динамічної інформації в інших областях. Представлені математичні вирази для визначення динамічних показників і шляхи формування інформаційних критеріїв з них, які забезпечують практичну можливість оцінити якість управління інтелектуальних систем, беручи до уваги втрату інформації в ході динаміки змін в умовах експлуатації інтелектуальних систем. Розглянуто випадки застосування математичних моделей динамічних інформаційних показників інтелектуальної системи.

Ключові слова: інтелектуальні системи, якість, інформаційні показники інтелектуальних систем, реорганізація, самоорганізація.

Катков Ю.І. Динамические информационные показатели качества интеллектуальных систем. В статье рассматривается суть концепции качества работы интеллектуальных систем и использование динамических информационных индикаторов интеллектуальной системы, являющейся элементом сложной организационно-технической системы. В результате анализа литературы были найдены основные идеи информационного подхода для оценки динамических информационных показателей в других областях. Рассмотрено математическое моделирование оценки динамических показателей интеллектуальных систем при реорганизации или самоорганизации. Представлены математические выражения для определения динамических показателей и способов формирования из них информационных критериев, которые дают практическую возможность оценить качество управления интеллектуальными системами с учетом потери информации при динамике изменений условий работы интеллектуальных систем. Рассмотрены случаи применения математических моделей динамических информационных индикаторов интеллектуальной системы.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, качество, информационные показатели интеллектуальных систем, реорганизация, самоорганизация.

Вступ

Метою статті є моделювання якості динамічних процесів управління на основі інформаційного підходу (ІІ). Сьогодні підвищення ефективності впровадження інформаційних систем (ІС) в складні організаційно-технічні системи (СОТС) тісно пов'язане з впровадження інтелектуальних технологій на основі штучного інтелекту та створення на їх основі інтелектуальних систем (ІнтС), яким притаманне генерація варіантів рішень для прийняття рішень в соціально-економічній сфері суспільства.

До ІнтС, як правило, відносять: інтелектуально-інформаційні, експертні, розрахунково-логічні, гібридно-інтелектуальні та рефлекторно-інтелектуальні системи [1], які пов'язані з технологіями: 1) машинного навчання (machine learning), у тому числі навчання нейронних мереж та інтелектуальна аналітика; 2) обробка природної мови (natural language processing: translation – переклад, classification & clustering – класифікація і кластеризація, information extraction - витяг інформації); 3) машинна мова (Speech) - Speech to text - мова в текст, text to speech - текст в мову; 4) експертні системи (expert Systems); 5) планування, диспетчеризація і оптимізація (planning, scheduling & optimization); 6) зір (Vision: image recognition) - розпізнавання зображень, machine vision – машинний зір; 7) робототехніка (robotics).

Метою таких ІнтС є моделювання розумових процесів адаптації до негативного зовнішнього впливу, тобто пристосування структури, функцій, взаємозв'язків між елементами системи до умов виконання заданих цілей функціонування. При цьому процеси адаптації спрямовані на збереження гомеостазу. Гомеостаз в СОТС пов'язаний з процесами саморегуляції, здатності відкритої системи зберігати постійність свого внутрішнього стану за допомогою скоординованих реакцій, спрямованих на підтримку динамічного рівноваги. Схильність СОТС відтворювати себе, відновлювати втрачену рівновагу, подолати протидію зовнішнього середовища виконується за допомогою процесів реорганізації або самоорганізації, що обґрунтоване в [2-3]. Для опису динаміки реакції СОТС на керуючі впливи традиційним є застосування показників якості функціонування системи [4-5], які характеризують якість послуг, продукції, процесів відносно потребам та призначенню системи. Відомо, що для визначення якості функціонування системи потрібна математична модель якості управління цієї системи, в нашому випадку СОТС, в динаміці її роботи. Якість управління СОТС в свою чергу залежить від наявності достовірної, об'єктивної, корисної, адекватної, повної, актуальної та доступної інформації про зміни стану об'єктів та динаміку розвитку процесів. Природне, що оцінювати такі дії можна за допомогою певних інформаційних показників та критеріїв для динамічних умов зміни процесів або стану елементів в СОТС. Визначення динамічних інформаційних показників є актуальним та своєчасним завданням.

Постановка задачі.

Для оцінки якості функціонування ІнтС в межах структури СОТС, коли ІнтС генерує інформацію для визначення варіантів рішень щодо заходів підвищення якості функціонування СОТС в умовах впливу загроз, потрібне визначення інформаційних показників та критеріїв, що відображають динаміку зміни стану елементів СОТС або процесів в них. Звідси виникає завдання - визначити їх склад, що достатній для оцінки прийнятих рішень в умовах динаміки зміни стану або процесів та методу їх оцінки під час впливу загроз. Об'єктом дослідження обрані процеси в ІнтС, а предметом дослідження є динамічні інформаційні показники якості функціонування ІнтС.

Аналіз літературних джерел.

Проблемі визначення якості управління в складних системах присвячені наукові праці вітчизняних та зарубіжних авторів.[4-8] В роботі [9] надається опис критичності стану елементів СОТС, коли якість функціонування змінюється. В [10] показана значна роль і місце інформаційної інфраструктури під час виникнення явища критичності в СОТС, бо вимагає проведення заходів адаптації до нових умов роботи організаційно-функціональної структури СОТС. Звідси найважливішою операцією запобігання критичним ситуаціям в СОТС є необхідність оцінки впливу загроз та оцінки динаміки розвитку до та після подій керуючих

впливів у результаті вибору варіанту рішення. Це завдання в сучасних системах управління покладається на ІнтС, тобто це визначення і прогнозування найбільш важливих властивостей процесу на основі інтерпретації даних для адаптації функціонально-структурної організації і генерації обґрунтованих рекомендації протидії загрозам.

В [11-12] робиться спроба визначення показників оцінки процесів реорганізації СОТС, яка розглядається в якості метода адаптації (автоматизованого управління) будь-якої системи до негативних впливів зовнішнього середовища. В [11] показано, що реорганізація – це процес поступового перетворення, перебудови, зміни структури і функції установи (злиття, поділ, виділення, перетворення), удосконалювання організаційних відношень в постійно діючих структурах цих установ, пристосування до умов функціонування, які змінюються одночасно зі змінами в організаційній системі. Тобто реорганізація як процес передбачає структурно-функціональну зміну структури. Крім того робиться припущення, що реорганізація є попередньою формою самоорганізації. Дійсно, якщо процес реорганізації, який передбачає зміну зовнішніх умов на основі прийняття рішення людиною - автоматизувати, то отримуємо умови самоорганізації, яка здійснюється автоматично. Це вказує на загальну подібність процесів реорганізації і самоорганізації і змушує звернути увагу на відмінність механізмів регулювання в ІнтС, яка автоматично генерує варіанти рішень в ієрархічній структурі системі управління СОТС.

Відмінність механізмів регулювання в ІнтС полягає у тому, що в будь-якій СОТС є критичні елементи, вплив загроз на які може призвести до критичного стану всієї системи. Вихідними даними для оцінки впливу загрози є інформація про стан об'єктів спостереження (практично, це телеметрія показників та характеристик стану об'єкту спостереження). Тому для аналізу якості стану СОТС та управління процесами або станом елементів доцільно застосовувати *інформаційний підхід* (ІП).

Сутність ІП полягає у визначенні для об'єкта спостереження (процесу або явища) характерних для нього інформаційних аспектів. Відомо, що в основі ІП застосовують принцип інформативності, згідно з яким: інформація є універсальною, фундаментальною категорією; вважається, що практично всі процеси та явища мають інформаційну основу; інформація є носієм змісту процесів, що відбуваються в природі та суспільстві; всі існуючі в природі взаємозв'язки мають інформаційний характер; існує можливість оцінки факторів, які мають невизначений або «розмитий» вид.

Відповідно до [13-14], де розглядається універсальний ІП, невизначеність стану об'єкта спостереження до експерименту характеризується безумовною (ап'юріорної) ентропією, а після експерименту – умовної (апостеріорної) ентропією. Різниця їх полягає в кількості інформації, отриманої про стан об'єкту або процесу спостереження. Але розгляд специфічних особливостей якості функціонування ІнтС в [13-14] відсутній, що вказує на додаткову актуальність та доцільність проведення досліджень. Дійсно, зазначений універсальний ІП в [13] мав початкове але тільки теоретичне значення для оцінки кількості інформації, бо практично з моменту створення теорія інформації К. Шенонем кількість інформації розглядалась виключно для вирішення конкретних завдань передачі сигналів зв'язку. У деяких наукових працях, наприклад, [14] цієї підхід був застосований для визначення інформаційних характеристик процесів організації функціональної структури системи на основі аналогії між каналом зв'язку та СОТС при відповідних припущеннях і обмеженнях, а саме: введена ентропійна оцінка властивостей - неупорядкованість та неорганізованість, а ознакою якості функціонування систем, в нашому випадку це ІнтС, є структурованість цієї системи в структурі СОТС відносно певної мети, тобто взаємопов'язаність складових її частин, підпорядкованість організації всієї системи певної цілі. Звідси невирішеним питанням є обґрунтування складу інформаційних показників, що відображають динаміку зміни стану елементів СОТС або процесів в них для побудови математичної моделі управління станом об'єкта або динамічного процесу, що досліджується в певній предметній галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Обраний інформаційний підхід потребує уточнення ряду визначень на предмет їх відповідності і можливості застосування для подальших досліджень в межах ІнтС.

Структурованість системи (в нашому випадку ІнтС) – це визначена наявність встановлених зв'язків і відносин між елементами всередині системи, розподіл елементів системи за рівнями ієрархії [15]. Ступень структурованості може змінюватися від слабкої до сильної. Вплив загрози порушує структурованість. В [16] надається загальний підхід до аналізу ступеня структурованості через такі поняття, як невпорядкованість і неорганізованість, тому доцільно розглядати ступень шкоди через інформаційні показники якості ІнтС.

Невпорядкованість (анг.- chaos, рос.- беспорядок) – це характеристика структури, що означає ступінь прояви дії деякої шкоди на взаємну узгодженість її елементів, тобто це ступень структурованості системи відносно якості досягнення мети в умовах впливу загрози на ІнтС. Відповідно до [14] невпорядкованість \bar{Y} – це міра відмінності будь-якого елемента x_i від еталону x_{em} , яка прагне до нуля коли $x_i \rightarrow x_{em}$. Шкода може бути суттєвою в наслідок відсутності керування за умови стихійності дій, самопливу (хід деякої справи без плану, без керівництва), некомпетентності, необізнаності, розхлябаності, анархії (відсутність планової організації), що відбувається під час процесу управління. При аналізі СОТС частіше використовують такі синоніми невпорядкованості - дезорієнтація, безлад та ін.

Невпорядкованості відповідає слабка структурованість системи. Це дозволяє ввести критеріальне обмеження - поточна невпорядкованість $\bar{Y}_{пот}$ повинна бути не менше допустимої $\bar{Y}_{доп}$:

$$\bar{Y}_{пот} \geq \bar{Y}_{доп} . \quad (1)$$

Неорганізованість — це характеристика структури, що означає ступінь прояви дії деякої шкоди в наслідок невпорядкованості, є антонім поняттю «організованість». Неорганізованість може бути власною, наведеною, просторовою, тимчасовою, алгоритмічною, структурною, статистичною. Наприклад, власна неорганізованість знаходиться за умови некомпетентності людини під час виконання завдання і визначається ймовірністю її появи $P(\bar{Q})$. Практичне це відповідає випадку, коли спостерігач, що контролює стан об'єкту не знає як параметри об'єкту впливають на загальні показники функціонування системи, що знаходяться на більш високому рівні управління, тому при незадовільному значенні цього параметру не звертає на це увагу, що і призводить до втрати якості управління об'єкту і системи в цілому. Тоді слід ввести критерій, що поточна неорганізованість $P(\bar{Q})_{пот}$ повинна бути не менше допустимої $P(\bar{Q})_{доп}$:

$$P(\bar{Q})_{пот} \geq P(\bar{Q})_{доп} . \quad (2)$$

Неорганізованість \bar{Q} може бути розглянута відносно будь-якого показника і виступати узагальненою характеристикою невпорядкованості слабко структурованої системи, яка складається з певного числа структурованих d . Ці елементи можуть існувати в можливих ситуаціях m взаємовідносин на протязі тимчасових інтервалів Δt . Коли \bar{Q} може бути зважена за фактором суттєвості її прояви відносно певних показників функціонування системи, то це пропонується умовно відобразити так:

$$\bar{Q} = \bigcup^{\Delta t} \alpha_{\beta} \bigcup^d s_i \bigcup^m p_j F(\bar{Y}), \quad (3)$$

де \bigcup - умовний символ узагальненої характеристики невпорядкованості відповідно за Δt час, d елементів і m ситуацій, а α_{β} , s_i , p_j - ваги відповідно β -го інтервалу часу, i -го елемента і j -тої ситуації, F – функціонал від \bar{Y} – невпорядкованості, за допомогою якого призводиться зважування неорганізованості по фактору суттєвості її прояви у відношенні певного показника функціонування системи, що може бути: експоненціальним, логарифмічним, лінійним, степеневим.

Для дослідження динаміки зміни стану ІнтС під час впливу загроз розглянемо процеси зміни неорганізованості за один інтервал часу Δt (рис.1).

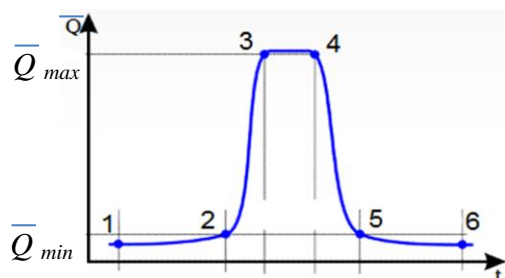


Рис. 1 Графік зміни неорганізованості

На Рис.1 надано, що на ділянці (1-2) неорганізованість мінімальна \overline{Q}_{min} , в точці 2 відбувається вплив загрози на елементи ІнтС і виникає невпорядкованість, яка призводить до збільшення значення неорганізованості на ділянці (3-4) до деякої величини \overline{Q}_{max} . Після проведених заходів реорганізації на ділянці (4-5) починається падіння неорганізованості до мінімальної величини \overline{Q}_{min} , досягаючи з часом мінімального значення. На ділянці (5-6) ІнтС відновлена. Тоді динаміка зростання неорганізованості може бути представлена швидкістю процесу виникнення неорганізованості на ділянці (2-3) - $V_{вин.неорг}$ як:

$$V_{вин.неорг} = d\overline{Q}_t / dt, \quad (4)$$

а динаміка зменшення неорганізованості $V_{зм.неорг}$ - швидкістю процесу на ділянці (4-5):

$$V_{зм.неорг} = -d\overline{Q}_t / dt \quad (5)$$

З теорії управління відомо, що на ділянці (4-5) відбувається так званий процес самовирівнювання.

Самовирівнювання - це властивість регульованого об'єкту самостійно повертатися в заданий стан після порушення рівноваги між заданим і аварійним станами, без участі людини або регулятора. Самовирівнювання сприяє більш швидкої стабілізації регульованої величини і полегшує роботу регулятора. Визначення динамічних характеристик об'єкта управління з самовирівнюванням по його перехідній характеристиці можна відобразити у вигляді деякої передавальної функції.

Передавальна функція - це виведене ідеальне (теоретичне) співвідношення між вхідним і вихідним сигналом. Ця функція встановлює взаємозв'язок між вихідним станом ІнтС до впливу загрози (стан 2, рис.1) і подальшим станом (стан 3, рис.1) після зовнішнього впливу: $S=f(s)$. Передавальна функція може бути представлена у вигляді: таблиці, графіка, математичного виразу, може бути лінійної і нелінійної, може бути одновимірної або багатовимірної (пов'язує подальший стан 3, рис.1, тільки з одним зовнішнім впливом).

Одновимірну лінійну функцію представляють в вигляді виразу $S=a+bs$, де a - постійна складова (тобто значення неорганізованості на ділянці (1-2) рис. 1, при нульовому вхідному впливі), b - нахил прямої, який називають швидкістю процесу виникнення неорганізованості на ділянці (1-2), s - характеристика значення неорганізованості, яку системи збору даних сприймають як вихідні сигнали. Як і більшість процесів з самовирівнюванням, процес зростання неорганізованості на рис.1 зі стану 2 в стан 3 можна апроксимувати експоненційною залежністю [17]:

$$\overline{Q}_t = \overline{Q}_{вин.неорг} - (H(p) - \overline{Q}_{вин.неорг})Ce^{-\alpha t}, \quad (6)$$

де C і α - постійні, H - неорганізованість у вигляді ентропії К. Шеннона, а

$$H(p) = -\sum_j p_j \log_A p_j,$$

де p_j - ймовірність появи події.

Форма кривої зміни неорганізованості на ділянці (2-3) визначається динамічними характеристиками ІнтС, яка може бути представлена аперіодичною ланкою першого-другого порядку або ланкою коливань. Для спрощення подальших викладок апроксимуємо ділянку (2-3) кривої зростання неорганізованості лінійною функцією

$$\bar{Q}_t = \bar{Q}_{t_{\text{вин.неорг}}} + V_{\text{сер}}t,$$

де $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість зростання неорганізованості.

Звідси:

$$V_{\text{сер}} = (\bar{Q}_t - \bar{Q}_{t_{\text{вин.неорг}}}) / (t_2 - t_1) . \quad (7)$$

Статистичні зв'язку між значеннями вимірюваної величини в моменти часу t_1 і t_2 зменшуються до рівня, яким можна знехтувати. Тому інтервал $\Delta t = \tau_0 = (t_1 - t_2)$ можна розглядати як оптимальний інтервал між двома послідовними вимірами. Він визначається як мінімальний інтервал τ , при якому коефіцієнт кореляції $R(\tau)$, стає дорівнювати нулю [17]. Тоді:

$$V_{\text{сер}} = (H(p) - \bar{Q}_{t_{\text{вин.неорг}}}) / \tau_0 . \quad (8)$$

Нехай час, необхідний для отримання результату вимірювання неупорядкованості Y_j дорівнює T_j , при цьому, як правило $\Delta t \neq T_j$. До моменту отримання результату величина неупорядкованості, яка вимірюється, буде створювати деяку неорганізованість $\bar{Q}_{T_j} = V_{\text{сер}}T_j$, яка характеризує динамічну похибку зміну стану або процесу ІнтС. Вважаючи, що такі джерела неорганізованості, як статичні похибки вимірювання і запізнювання T_j взаємно незалежні загальну неорганізованість величини вимірюваної величини X в момент отримання результату Y_j визначимо як

$$\bar{Q}_t(X/Y_j) = (\bar{Q}_{t_{\text{вин.неорг}}} - \bar{Q}_{t_T}) .$$

Найбільша кількість інформації, яка може міститися в результаті вимірювання Y_j :

$$I(X/Y_j) = H(p) - \bar{Q}_t(X/Y_j) , \quad (9)$$

або

$$I(X/Y_j) = H(p) - \bar{Q}_{t_{\text{вин.неорг}}} + V_{\text{сер}}t . \quad (10)$$

Звідси максимальна швидкість проходження інформації через ІнтС:

$$V_{j\text{сер}} = I(X/Y_j) / T_j . \quad (11)$$

Оскільки ймовірність отримання результату Y_j дорівнює p_j , то середня для всіх вимірювань максимальна швидкість проходження інформації через ІнтС може бути визначена як математичне очікування величини $V_{j\text{сер}}$:

$$V_{\text{сер}} = \sum_j p_j I(X/Y_j) / T_j . \quad (12)$$

Для того, щоб втратити інформації були найменші, необхідно, щоб середня швидкість створення неорганізованості не перевищувала максимальну швидкість передачі інформації:

$$V_{\text{сер}} \leq \sum_j p_j I(X/Y_j) / T_j . \quad (13)$$

Підставивши в (13) значення $V_{\text{сер}}$ з виразу (8) і $I(X/Y_j)$ з виразів (9, 10), після перетворень отримуємо, що $2/\tau_0 \leq \sum_j (p_j / T_j) = 1/T_{\text{сер}}$, де $T_{\text{сер}}$ – середній час вимірювання.

Так як $T_{\text{сер}} = \tau_0 / 2$, то висновок такий. Умовою мінімальних втрат інформації внаслідок динамічних похибок є застосування такої ІнтС, у якій середній час вимірювання менше

половини інтервалу $\Delta t = \tau_0$. Максимальну $V_{\text{сер}}$ швидкість передачі інформації для v можна розглядати як реальну пропускну здатність ІнТС.

Підставивши в (11) вираз для мірила корисної інформації для оцінки впливу загрози на ІнТС у вигляді:

$$I_{\text{кор.інф}} = N_0 - N(p/q) = - \sum_j p(X_j) \log_A [m q(X_j)], \quad (14)$$

з урахуванням того, що $\sum_j (p_j / T_j)$ математичне очікування $1/T_{\text{сер}}$ отримаємо:

$$V_{\text{сер}} = 1/T_{\text{сер}} \sum_{j=1}^m p_j \log_A (m q_j). \quad (15)$$

Це і є динамічний критерій якості ІнТС, в якому враховуються її інерційні властивості, статистичні параметри вимірюваного сигналу, відносні рівні похибок та їх характер.

Практичне використання запропонованих інформаційних характеристик має складності:

1. Оскільки істинне значення вимірюваної величини невідомо, то розподіл ймовірностей $P = \{p(X_j)\}$ достовірно знати неможливо. Дану перешкоду можна подолати наступним чином. Замість справжніх значень вимірюваної величини використовуються дійсні, тобто умовно-справжні, знайдені експериментально з найбільшою точністю. У наслідок цього, розподіл ймовірностей P може бути отриманим двома шляхами:

а) експериментальним шляхом з використанням зразкових образів станів або процесів, де зразковий образ буде отриманий внаслідок статистичного моделювання відповідно стану чи процесу або накопиченням статистичних даних (досвіду) про поведінку в певній ситуації;

б) спрощеним шляхом, що базується на прийнятті гіпотези про стандартний закон розподілу ймовірностей значень вимірюваної величини. В якості стандартного може бути прийнятий нормальний, як найбільш поширений, або ж рівномірний, який дає найбільшу апріорну невизначеність про значення вимірюваної величини. Але в цьому випадку по мірі накопичення статистичних даних законі розподілу ймовірностей необхідно уточнювати.

2. Якщо значення ймовірностей $p(X_j)$ або $q(Y_j)$ дорівнюють нулю, наприклад, при малій виборці експериментальних даних або в разі систематичної похибки, яка призводить до розбіжностей діапазонів зміни величин X і Y , то застосування логарифмічною функції F неможливе. Для того, щоб уникнути нульових значень ймовірностей, треба застосовувати методи експериментального знаходження розподілів P і Q , що заснована на методі рівно частотних інтервалів [18], хоча при цьому зростає ризик прийняття помилкового рішення.

Висновки

Таким чином, розглянуті інформаційні динамічні показники (4), (5) та критерії (1), (2), (15) забезпечують практичну можливість оцінки якості управління ІнТС з урахуванням втрат інформації в ході динаміки зміни умов функціонування ІнТС. Наведені практичні рекомендації їх вимірювань дозволять істотно спростити розрахунки і забезпечити подальшу мінімізацію помилок при прийнятті рішення в СОТС.

Список використаної літератури

1. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. — М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. — 432 с. — ISBN 978-5-279-03412-3.
2. Мильнер Б.З. Теория организаций. - М.: ИНФРА-М, 1999. – 336 с.
3. Николос Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М.: Мир, 1979.– 512с.
4. Международные стандарты. «Управление качеством продукции». ИСО 9000-9004, ИСО 8402. — М.: Изд-во стандартов, 1988. – 80с.
5. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. – К.: Держкомстат України, 2001. – 28с.
6. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги. – К.: Держстандарт України, 2001. – 23с.

7. Сороко В. М. Функціонування і розвиток системи управління якістю: навч.- метод. матеріали / В. М. Сороко. – К. : НАДУ, 2013. – 80 с.
8. Векслер Е. М. Менеджмент якості. Навчальний посібник / Е.М. Векслер, В.М. Рифа, Л.Ф. Василевич / під заг. Ред.. Е. М. Векслера. – К.: “Професіонал”, 2008. –320 с.
9. Даник Ю.Г. Національна безпека: запобігання критичним ситуаціям: монографія / Ю. Г. Даник, Ю. І. Катков, М. Ф. Пічугін; Національна академія оборони України, Житомир. військ. ін-т радіоелектроніки ім. С. П. Корольова. - Житомир: Рута, 2006. – 386с.
10. Катков Ю.І. Роль і місце інформаційної інфраструктури під час виникнення явища критичності організаційної системи / Ю.І. Катков, В.В. Вишнівський, С.О. Серих // Журнал: Зв'язок – 2017. – №5 – С. 57-65.
11. Катков Ю.І. Оцінка процесів реорганізації системи з критичною інфраструктурою/ Ю.І. Катков, В.В. Вишнівський, С.О. Серих // Журнал: Зв'язок – 2017. – №6 – С57-65.
12. Катков Ю.І. Методика оцінки показника реорганізації складної організаційно-технічної системи/ Ю.І. Катков, В.В. Вишнівський, С.О. Серих // Журнал: Зв'язок – 2018. – №1 – С47-55.
13. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетика. М.: Иностранная литература, 1963. 829 с.
14. Горский Ю.М. Информационные аспекты управления и моделирования. М.: Наука, 1978. – 223 с.
15. Брага В.В. Автоматизированные информационные технологии в экономике./ В.В. Брага, Н.Г. Бубнова и др. // Учебник. Москва, Финстатинформ, 1997. – 225с.
16. Теория управления: учеб. пособие/Г. А. Леонов. - СПб.: С.-Петербур. ун-та, 2006. - 233с.
17. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: "Наука", 1980. – 208 с.
18. Гаскаров Д.В. Малая выборка. / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов // М.: Статистика, 1978. – 248 с.

Автор статті

Катков Юрій Ігорович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Katkov Yuriy Ihorovych - candidate of science (technic), associate professor, associate professor of the Department of Computer Science, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 27.02.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Вишнівський