

УДК 004.056.5:004.052

**Е.В. ЗАЙКА, А.С. ИЗДИНОВ, И.А. СКАТКОВ**

*Севастопольский национальный технический университет, Украина*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Предложена информационная модель процессов мониторинга нагрузки узла сети. Выполнен информационный анализ бинарного распознавателя нагрузки узла. Выполнен информационный анализ интервального распознавателя нагрузки узла. Предложенная информационная модель процессов мониторинга нагрузки узла сети позволяет количественно на основании энтропийных характеристик установить связь между двумя системными параметрами: информационно-техническим состоянием и вычислительной мощностью узла. На основе теории бинарного и интервального распознавателей с использованием указанной модели становится возможной организация эффективного мониторинга информационно-вычислительных систем критического применения и оценки уровня остаточной энтропии.*

**Ключевые слова:** *информационный анализ, процесс мониторинга, объект критического применения, информационно-техническое состояние.*

### **Введение**

Методы анализа и синтеза систем мониторинга сложных объектов с момента своего появления получили достаточное развитие и в настоящее время представляют основу развитых инструментальных средств соответствующего назначения. Системы критического применения остро необходимы для обеспечения дальнейшего развития промышленности, но в то же время представляют собой совокупность трудно формализуемых и слабо структурированных подсистем, связанных многочисленными информационными, энергетическими и материальными каналами.

Выход из строя таких систем, как показывает имеющийся опыт, приводит к тяжким последствиям и широкомасштабным авариям, многочисленным жертвам.

Поэтому научно-практическая задача разработки таких систем представляется чрезвычайно важно и актуальной.

Теория построения таких систем должна базироваться на фундаментальных понятиях системного анализа и информатики, целевое назначение которых обеспечить качественное принятие решений.

Одним из таких базовых понятий является понятие информационно-технического состояния (ИТС), исходная идея которого сформулирована в [1].

Целью настоящей работы является информационный анализ процессов мониторинга критических систем на основе оценки ИТС.

### **1. Информационная модель процессов мониторинга нагрузки узла сети**

Нестационарная интенсивность информационных обменов в критических системах приводит к необходимости применения научно обоснованных методов анализа и экстраполяции информационных характеристик, сопровождающих процесс их мониторинга. Возникает потребность в разработке методов, позволяющих выполнять априорную и апостериорную оценку информационных параметров с целью принятия решений по реинженерингу систем мониторинга. В реальном времени достаточно сложно получить ответ на вопрос – на сколько изменяются информационные характеристики при флуктуациях нагрузки в выделенном узле сети, при скачкообразном изменении числа доступных каналов и емкости буферных накопителей. Решение этих задач требует создания соответствующих инструментальных средств. Одним из таких инструментов, предназначенных для анализа эффективности процессов мониторинга узла, должна стать аналитическая модель, позволяющая количественно оценить разнообразные информационные характеристики, в том числе и показатели энтропии. Разработка такой модели, выполненная далее, ориентированна для типового узла коммутационно-вычислительной сети, которая обеспечивает информационно-управляющее обслуживание критических систем. Модель содержит в качестве входных переменных – множество запросов, в качестве выходных – результаты многоканальной серверной обработки. Перед

сервером для компенсації флуктуації поступлення запитів вводиться буферна пам'ять. Основними питаннями, що потребують рішення, є: 1) визначення ємності буфера; 2) визначення продуктивності каналу сервера; 3) визначення кількості каналів сервера.

За результатами моніторингу оцінюється стан, в якому знаходиться виділений вузол мережі  $s_j$ ,  $S$  – множина всіх станів вузла. Як і раніше, стан  $s_j$  визначається ступенем заповнення буфера та кількістю зайнятих каналів процесора. Таким чином, стан  $s_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) є вихідним символом з відповідного алфавіту  $S$  для абстрактного дискретного каналу, що лежить в основі пропонуваної інформаційної моделі. Такий канал є інформаційною моделлю системи моніторингу. В процесі моделювання він забезпечує реалізацію повідомлень, що представляють собою послідовності елементарних символів деяких алфавітів, що мають скінченну кількість. Як вихідний символ будемо розглядати інтервальне значення коефіцієнта навантаження цього вузла мережі  $\rho_i$  ( $\rho_i=1,2,\dots,n$ ), визначене на множині таких інтервалів  $P$ . Т.е.  $\rho_i$ , що належить алфавіту  $P$ , є вихідним символом для цього каналу.

Виходячи з відомих положень теорії інформації [2], дамо визначення основних ймовірнісних характеристик для подій, пов'язаних з передачею повідомлень по такому каналу:  $p(s_j)$  – ймовірність того, що вузол знаходиться в стані  $s_j$ ;  $p(\rho_i, s_j)$  – спільна ймовірність появи на виході каналу символу  $s_j$ , якщо на його вході був символ  $\rho_i$ ;  $p(\rho_i | s_j)$  – апостеріорна ймовірність символу  $\rho_i$  з відповідного алфавіту;  $p(s_j | \rho_i)$  – умовна ймовірність появи на виході каналу символу  $s_j$ , за умови, що на його вході був символ  $\rho_i$ . Для цих ймовірностей виконуються відповідні нормуючі співвідношення:

$$\begin{aligned} p(\rho_i) &= \sum_{j=1}^m p(\rho_i, s_j), \\ p(s_j) &= \sum_{i=1}^n p(\rho_i, s_j), \\ \sum_{i=1}^n p(\rho_i) &= \sum_{j=1}^m p(s_j) = 1. \end{aligned} \quad (1)$$

Тоді власна інформація символу  $\rho_i$ , пов'язана з ймовірнісним розподілом навантаження виділеного вузла мережі, визначається як

$$I(\rho_i) = -\log p(\rho_i). \quad (2)$$

Ця формула визначає кількість інформації, що доставляється знанням самого символу  $\rho_i$  або будь-яким іншим, однозначно з ним пов'язаним. На основі співвідношень (1) та (2) можна визначити наступні інформаційні характеристики:

- умовну власну інформацію про коефіцієнт навантаження  $\rho_i$  при відомому стані вузла  $s_j$

$$I(\rho_i | s_j) = -\log p(\rho_i | s_j); \quad (3)$$

- взаємну інформацію двох випадкових символів відносно один одного (кількість інформації відносно  $\rho_i$ , що доставляється відомим станом  $s_j$ )

$$I(\rho_i; s_j) = \log \frac{p(\rho_i | s_j)}{p(\rho_i)} = \log \frac{p(\rho_i, s_j)}{p(\rho_i)p(s_j)}; \quad (4)$$

- власна інформація спільної події  $(\rho_i, s_j)$

$$I(\rho_i, s_j) = -\log p(\rho_i, s_j); \quad (5)$$

- середнє кількість інформації, що отримується при ідентифікації стану системи  $s_j$  відносно множини всіх інтервалів можливих значень навантаження вузла  $\rho_i$   $\theta = \{\rho_i\}$

$$\begin{aligned} I(\theta; s_j) &= \sum_{i=1}^n I(\rho_i; s_j)p(\rho_i | s_j) = \\ &= \sum_{i=1}^n p(\rho_i | s_j) \log \frac{p(\rho_i | s_j)}{p(\rho_i)}; \end{aligned} \quad (6)$$

- середнє кількість взаємної інформації по множині можливих станів вузла  $S = \{s_j\}$  при відомій його інтервальній навантаженні

$$\begin{aligned} I(\rho_i, S) &= \sum_{j=1}^m I(\rho_i; s_j)p(s_j | \rho_i) = \\ &= \sum_{j=1}^m p(s_j | \rho_i) \log \frac{p(s_j | \rho_i)}{p(s_j)}; \end{aligned} \quad (7)$$

- повне середнє кількість взаємної інформації по множині  $S$  відносно множини  $\theta$

$$\begin{aligned} I(\theta; S) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\rho_i, s_j) \log \frac{p(\rho_i | s_j)}{p(\rho_i)} = \\ &= \log \frac{p(\rho_i; s_j | z_k)}{p(\rho_i | z_k)p(s_j | z_k)}; \end{aligned} \quad (8)$$

где  $I(\rho_i; s_j | z_k)$  – количество информации, доставляемое  $s_j$  о  $\rho_i$ , когда предварительно известен символ некоторого  $s_j$  о  $\rho_i$ , алфавита  $z_k$ . Содержательно символ  $z_k$  может быть, например, носителем информации о доступном числе каналов сервера, характеристиках производительности каналов, дисциплинах обслуживания в каналах и т.д.).

Для введенных характеристик на основе известных соотношений справедливы следующие:

$$\begin{aligned} I(\rho_i; s_j) &= I(s_j; \rho_i), \quad I(\rho_i; s_j) \leq I(\rho_i), \quad I(\rho_i; s_j) \leq I(s_j), \\ I(\rho_i; s_j, z_k) &= I(s_j; \rho_i) + I(\rho_i; z_k | s_j) = \\ &= I(\rho_i; z_k) + I(\rho_i; s_j | z_k); \\ I(\rho_i; s_j) &= I(\rho_i) - I(\rho_i | s_j) = \\ &= I(s_j) - I(s_j | \rho_i) = I(\rho_i) + I(s_j) - I(s_j | \rho_i); \\ I(\theta, S_j) &\geq 0, \quad I(\rho_j, S) \geq 0, \quad I(\theta, S) = I(S, \theta) \geq 0, \\ I(\theta, S, Z) &= I(\theta, S) + I(\theta, Z | S); \\ I(S, Z, \theta) &= I(S, \theta) + I(Z, \theta | S). \end{aligned} \quad (9)$$

Помимо собственно информационных характеристик важнейшей интегральной оценкой при принятии решений по реинженерингу систем мониторинга узла является условные энтропии:

- условная энтропия  $H(S | \theta)$  множества событий  $S$  при данном множестве событий  $\theta$ :

$$\begin{aligned} H(S | \theta) &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\rho_i, s_j) \log p(s_j | \rho_i) = \\ &= - \sum_{i=1}^n p(\rho_i) \sum_{j=1}^m p(s_j | \rho_i) \log p(s_j | \rho_i) = I(S | \theta); \end{aligned} \quad (10)$$

- условная энтропия  $H(\theta | S)$  множества событий  $\theta$  при данном множестве  $S$

$$\begin{aligned} H(\theta | S) &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\rho_i, s_j) \log p(\rho_i | s_j) = \\ &= - \sum_{j=1}^m p(s_j) \sum_{i=1}^n p(\rho_i | s_j) \log p(\rho_i | s_j) = I(\theta | S); \end{aligned} \quad (11)$$

- энтропия  $H(\theta, S)$  множества совместных событий  $\theta, S$

$$\begin{aligned} H(\theta, S) &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\rho_i, s_j) \cdot \log(p(\rho_i, s_j)); \\ H(\theta, S) &= H(\theta) + H(S | \theta) = H(S) + H(\theta | S). \end{aligned} \quad (12)$$

Если множество  $\theta$  и  $S$  независимы  $H(\theta, S) = H(\theta) + H(S)$ .

Средняя взаимная информация  $I(\theta; S)$  связана с энтропией соотношениями

$$\begin{aligned} I(\theta; S) &= H(\theta) - H(\theta | S) = H(S) - H(S | \theta) = \\ &= H(\theta) + H(S) - H(\theta, S), \\ I(\theta; S) &\leq H(\theta), \quad I(\theta; S) \leq H(S). \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, информационная модель процесса мониторинга в системном плане интерпретируется как прямой и обратный канал передачи дискретных сообщений. В прямом канале входным сообщением является состояние узла, а выходным – его нагрузка. Соответственно, для обратного канала входное и выходное сообщение инвертируются. Информационные характеристики такого дуального канала повышают уровень априорной информации, а энтропийные характеристики дают представление об остаточном уровне неопределенности.

Для их практического использования при принятии решений важным является вопрос об интерпретации численных значений этих характеристик, а также их качественные свойства – области монотонности, наличие экстремумов и их местоположения.

## 2. Информационный анализ распознавателей нагрузки узла сети

Рассмотрим численные результаты расчетов для конкретного узла корпоративной сети. Определение информационных характеристик выполнено в соответствии с формулами (1) – (12).

Выполним информационный анализ бинарного распознавателя нагрузки узла [3].

При бинарном распознавании нагрузки предполагается, что область возможных значений для коэффициента нагрузки  $\rho$  – это интервал  $[a, b]$ , внутри которого выделяется некоторая точка  $c$ . Задача вероятностного распознавания состоит в том, чтобы найти вероятности попадания значений  $\rho$  в каждый из образовавшихся подинтервалов. Такая процедура может выполняться циклически, тем самым позволяя значительно уменьшить интервал первичной неопределенности для  $\rho$ .

Схема численного анализа состоит в следующем:

- определяются вероятности событий для узла сети:  $P_j$  – полная вероятность пребывания узла в состоянии  $j$ ,  $P_{j/\rho_i}$  – условная вероятность пребывания узла в  $j$ -м состоянии при фиксированном  $\rho_i$ ,  $P_{\rho_i/j}$  – апостериорная вероятность попадания  $\rho$  в  $i$ -й интервал при фиксированном  $j$ ,  $P_{\rho_i, j}$  – совместная вероятность пребывания узла в состоянии  $j$ , если  $\rho$  приняло значение из  $i$ -го интервала,

- определяется условная собственная информация о  $\rho_i$ ,  $i = \{1, 2\}$  при известном номере состояния  $j$ ,  $j = \{0, 1, \dots, n\}$ ,  $I(\rho_i / j)_i = -\ln P_{\rho_i / j}$ ,

- взаимная информация двух случайных значений  $\rho_i$  и  $j$  относительно друг друга (количество информации относительно  $\rho_i$ , доставляемое известным номером состояния  $j$ )

$$I(\rho_i; j) = \ln \frac{P_{\rho_i / j}}{P_{\rho_i}}$$

- собственная информация совместного события  $(\rho_i, j)$

$$I(\rho_i, j) = -\ln(P_{\rho_i, j}),$$

- среднее количество информации, доставляемое номером состояния  $j$  относительно множества всех  $\rho_i$ ,  $P = \{\rho_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$

$$I(P; j) = \sum_{i=1}^k I(\rho_i; j) \cdot P_{\rho_i / j},$$

- среднее количество взаимной информации по множеству состояний узла  $J = \{0, 1, \dots, n\}$  при фиксированном  $\rho$ ,

$$I(\rho_i; J) = \sum_{j=0}^n I(\rho_i; j) \cdot P_{j / \rho_i},$$

- полное среднее количество взаимной информации в множестве состояний узла  $J = \{0, 1, \dots, n\}$  относительно множества всех  $\rho$ ,  $P = \{\rho_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$

$$I(P; J) = \sum_{j=0}^n P_j \cdot I(P; j),$$

- собственная информация  $\rho_i$

$$I(\rho_i) = -\ln P_{\rho_i},$$

- средняя собственная информация или энтропия случайной величины  $P$ , определяющая меру неопределенности ее априорного значения

$$I(P) = H(P) = \sum_{i=1}^k P_{\rho_i} \cdot I(\rho_i),$$

- условная энтропия множества состояний узла  $J$  при данном множестве  $P$

$$H(J / P) = I(J / P) = -\sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^n P_{\rho_i, j} \cdot \ln P_{j / \rho_i},$$

- условная энтропия множества  $P$  при данном множестве состояний узла  $J$

$$H(P / J) = I(P / J) = -\sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^n P_{\rho_i, j} \cdot \ln P_{\rho_i / j},$$

- энтропия множества совместных событий  $P, J$

$$H(P, J) = -\sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^n P_{\rho_i, j} \cdot \ln P_{\rho_i, j}.$$

Информационный анализ бинарного распознавателя системы мониторинга выполнен для следующего набора исходных данных:  $a = 0, 1$ ,  $b = 0, 3$ ,  $c = 0, 2$ ,  $P[a, c] = 0, 5$ ,  $P[c, b] = 0, 5$ ,  $\mu = 0, 05$ ,  $m = 7$ ,  $n = 1$ . Вероятности  $P[a, c]$  и  $P[c, b]$  в схеме Байеса будем считать априорными.

Результаты численного моделирования приведены на рис. 1 – 3.

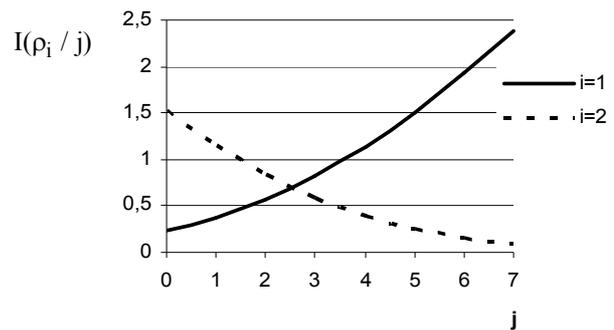


Рис.1. Условная собственная информация  $I(\rho_i / j)$  относительно  $\rho_i$  при известном номере состояния  $j$

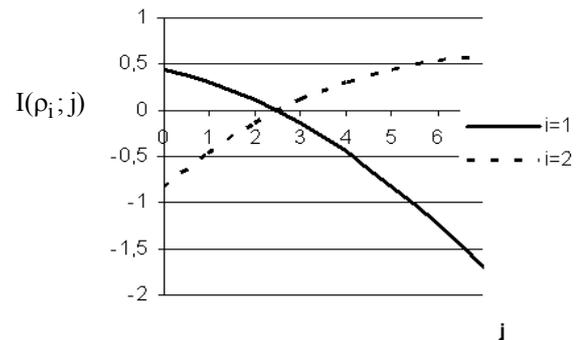


Рис. 2. Количество информации  $I(\rho_i; j)$  относительно  $\rho_i$

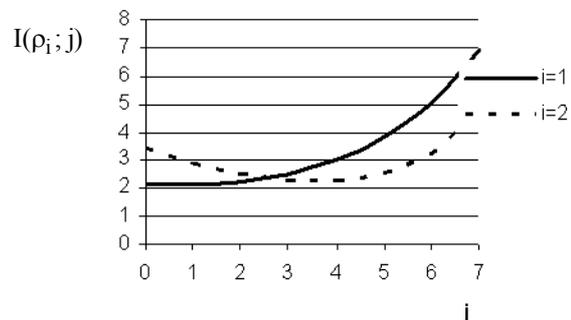


Рис. 3. Собственная информация  $I(\rho_i, j)$  совместного события  $(\rho_i, j)$

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод, что условная собственная

информация  $I(\rho_i / j)$  относительно  $\rho_i$  при известном номере состояния  $j$  монотонно возрастает с номером этого состояния для подинтервала  $[a, c]$  и монотонно убывает для подинтервала  $[c, b]$ .

Выполним информационный анализ интервального распознавателя нагрузки узла. В этом случае вся область возможных значений для коэффициента нагрузки  $\rho$  разбивается на ряд последовательно расположенных подинтервалов. Целью вероятностного распознавания в этом случае является нахождение распределения вероятностей принадлежности  $\rho$  каждому из выделенных подинтервалов. Информационный анализ интервального распознавателя нагрузки узла сети на основе его мониторинга выполнен для следующего набора исходных данных  $a = 0,1$ ,  $b = 0,3$ , число подинтервалов  $k = 8$ , априорная вероятность попадания значений  $\rho$  в каждый из выделенных интервалов одна и та же, равная  $P(\rho_i) = 0,125$ ,  $\mu = 0,05$ , емкость буфера  $m = 7$ , количество каналов обслуживания  $n = 1$ .

Полученные для этого случая результаты представлены на рис. 4 – 6.

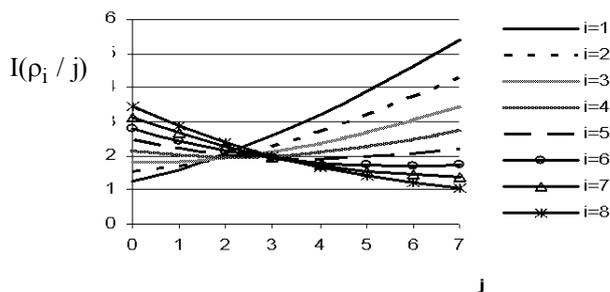


Рис. 4. Условная собственная информация  $I(\rho_i / j)$ , связанная с  $\rho_i$  при известном номере состояния  $j$

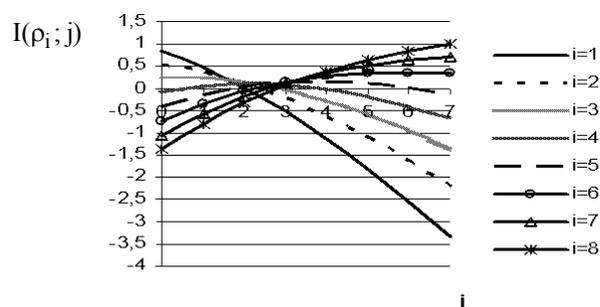


Рис. 5. Количество информации  $I(\rho_i; j)$  относительно  $\rho_i$ , связанное состоянием  $j$

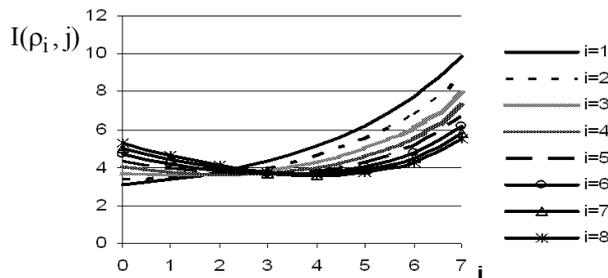


Рис. 6. Собственная информация  $I(\rho_i, j)$  совместного события  $(\rho_i, j)$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующий вывод. Собственная информация  $I(\rho_i, j)$  совместного события  $(\rho_i, j)$  для всех подинтервалов возможных распределений  $\rho$  имеет максимум при  $j = 7$ , т.е. в области, где система близка к перегрузке.

## Заключение

Предложена информационная модель процессов мониторинга нагрузки узла сети, которая позволяет количественно на основании энтропийных характеристик установить связь между двумя системными параметрами: информационно-техническим состоянием и вычислительной мощностью узла. На основе теории бинарного и интервального распознавателей с использованием указанной модели становится возможным организация эффективного мониторинга информационно-вычислительных систем критического применения и оценки уровня остаточной энтропии.

## Литература

1. Харченко В.С. Гарантоздатність комп'ютерних систем: межа універсальності у контексті інформаційно-технічних станів [Текст] / В.С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – №8 (27). – С. 7-14.
2. Духин А.А. Теория информации: Учебное пособие [Текст] / А. Духин. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с.
3. Изидинов А.С. Байесовский бинарный распознаватель нагрузки узла [Текст] / А.С. Изидинов // Всеукраинская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых - "Системы управления и автоматики". г. Севастополь. – 2009. – С. 76-78.

Поступила в редакцию 3.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

## ІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ КРИТИЧНИХ СИСТЕМ

*О.В. Зайка, А.С. Ізідінов, І.О. Скатков*

Запропоновано інформаційну модель процесів моніторингу навантаження вузла мережі. Виконано інформаційний аналіз бінарного розпізнавача навантаження вузла. Виконано інформаційний аналіз інтервального розпізнавача навантаження вузла. Запропонована інформаційна модель процесів моніторингу навантаження вузла мережі дозволяє кількісно на підставі ентропійних характеристик встановити зв'язок між двома системними параметрами: інформаційно-технічним станом і обчислювальною потужністю вузла. На основі теорії бінарного і інтервального розпізнавачей з використанням вказаної моделі стає можливою організація ефективного моніторингу інформаційно-обчислювальних систем критичного застосування і оцінки рівня залишкової ентропії.

**Ключові слова:** інформаційний аналіз, процес моніторингу, об'єкт критичного застосування, інформаційно-технічний стан.

## INFORMATION ANALYSIS THE MONITORING OF CRITICAL SYSTEMS

*E.V. Zaika, A.S. Izidinov, I.A. Skatkov*

We propose an information model of monitoring the load host. Completed an information analysis of binary recognizer loads the site. We perform analysis of information inter-node load rampart recognizer. The offered informative model of processes of monitoring of loading of knot of network allows in number on the basis of энтропийных descriptions to set connection between two system parameters: by the informatively-technical state and calculable power of knot. On the basis of theory binary and interval распознавателей with the use of the indicated model organization of the effective monitoring of the information-computer systems of critical application and estimation of level of remaining энтропии becomes possible.

**Key words:** information analysis, process monitoring, the object of critical applications, information and technical condition.

**Зайка Елена Вячеславовна** – старший преподаватель кафедры кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина.

**Изидинов Адиль Серверович** – старший преподаватель кафедры кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина.

**Скатков Иван Александрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных приборных систем Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина.