

УДК 681.3.06

О.В. Потій

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

**ЕНТРОПІЙНА МОДЕЛЬ ЗРІЛОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ**

*У роботі розкривається роль загальносистемної закономірності убування (зростання) ентропії у формування властивостей зрілості процесів захисту інформації. Розкриваються можливі підходи визначення рівня зрілості за допомогою оцінювання ентропії процесів. Розглянуті критерії, що визначають знак змінення зрілості процесів захисту інформації, на основі чого надається пояснення виникнення властивостей зрілості.*

*діяльність із захисту інформації, модель зрілості, ентропійний підхід*

**Вступ**

Зрілість є інтегративною, системною властивістю процесу. Аналіз змісту властивостей зрілості [1, 2] дозволяє зробити такий висновок: с підвищенням рівня зрілості здійснюється впорядкування процесу, підвищується рівень його організації. Організованість характеризує наявність у процесу визначеного порядку, організації, що проявляється у зниженні його ентропії. Тут під організацією ми розуміємо властивість, яка характеризує внутрішню впорядкованість, узгодженість взаємодії більш менш диференційованих та автономних частин цілого, що обумовлена його будовою [3]. Організація (впорядкованість) виникає у тому випадку, коли між деякими об'єктами (явищами) виникають закономірні сталі зв'язки та відношення, що актуалізують одні властивості та обмежують прояву інших властивостей. Впорядкованість проявляється у структурних особливостях процесу, його складності, визначеності цілей та результатів, конкретизації складу учасників тощо. Якщо розглядати процес як системне утворення, то цікавим є питання виявлення природи формування властивостей зрілості. У роботах [4 – 6] розкрити закономірності формування системних властивостей на основі ентропійного підходу. Спираючись на результати цих досліджень у даній роботі вирішується задача виявлення характеру впливу ентропії процесу, як системного утворення, на його властивість - зрілість.

**Ентропія як міра зрілості процесу**

Кількісною мірою впорядкованості є ентропія. Взагалі для оцінки рівня впорядкованості використовують коефіцієнт виду [7]

$$R = 1 - \frac{S_T}{S_{\max}}, \quad (1)$$

де  $S_T$  – поточне значення ентропії (невизначеності) системи;  $S_{\max}$  – максимальне значення ентропії

(невизначеності) системи.

У термодинаміці, як вказано у [8], за допомогою імовірнісної функції ентропії досліджуються процеси, що приводять до термодинамічної рівноваги, за якою всі стани молекул (їх енергії, швидкості) наближаються до рівноймовірних, а ентропія  $S_T$  при цьому прямує до максимальної величини  $S_T \rightarrow S_{\max}$ . За допомогою імовірнісної функції ентропії можна аналізувати всі стадії переходу системи зі стану повного хаосу, якому відповідають однакові значення ймовірностей, у стан граничної впорядкованості (жорсткої детермінації), якому відповідає єдині можливі стани елементів.

Для організаційно-технічних систем обчислення ентропії може здійснюватися на тому або іншому довільно обраному рівні [7]. При цьому значення ентропії  $S_T$ , що характеризує ступінь неупорядкованості системи, або негентропії  $NS_T$ , що характеризує ступінь впорядкованості системи, буде залежить від ступеню невизначеності станів елементів нижчого рівня, тобто тих елементів, які у своїй сукупності утворюють ці системи.

Спираючись на загальну характеристику рівня зрілості, наприклад надану у [9], та використовуючи ентропійний підхід, процесу можна надати таку якісну характеристику.

Процеси першого рівня зрілості характеризуються хаотичністю, реактивністю, непередбаченістю. Процес представляє собою аморфну сутність, чорну скриньку, інформація про процес досить обмежена. Визначеність мається лише відносно входів та виходів процесу.

У процесах другого рівня зрілості починають проявлятися елементи впорядкованості. Процес можна представити послідовністю чорних скриньок, з'являється додаткова інформація відносно структури процесу, проміжних результатів, зменшується невизначеність відносно планування, контролю, оцінювання процесу. На другому рівні формується

цикл управління та зменшується невизначеність результатів процесу.

На третьому рівні зрілості практично повністю усувається структурна невизначеність процесів, розкриваються зв'язки та залежності складових елементів процесу, усувається невизначеність відносно взаємодії процесів з оточенням, усувається невизначеність щодо результатів процесу, способів виконання процесу, удосконалюється управління процесом.

На четвертому рівні зрілості з'являється додаткова інформація у контурі управління, формуються зворотні зв'язки, усувається невизначеність відносно контролю якості виконання процесів. Можна казати, що на четвертому рівні зрілості усуваються невизначеність щодо структури управління, підвищується рівень організованості управління процесом, а також усувається невизначеність щодо впливу результатів процесу захисту інформації на результати діяльності організації у цілому.

На п'ятому рівні зрілості за рахунок отримання точних характеристик оцінки ефективності процесів (тобто додаткової інформації) створюються умови усунення структурної, інформаційної та іншої надлишковості процесів. В окремих випадках можна спостерігати ефект самоорганізації процесів.

З вищенаведеного можна зробити такий висновок: у формуванні властивостей зрілості визначну, якщо не вирішальну, роль відіграють ентропійні закономірності. Саме ці загальносистемні закономірності відповідають за напрямок розвитку процесів захисту інформації, як системних об'єктів. З'ясував роль ентропійних закономірностей у формуванні властивостей зрілості, ми можемо на методологічному рівні визначити умови та обґрунтувати правила, виконання яких визначають тенденцію якісного зміння зрілості, її зменшення або збільшення.

З точки зору математичної статистики знання про те, на якому рівні зрілості знаходиться той або інший процес, можна звести до знання ймовірності гіпотези про володіння конкретним процесом конкретною властивістю зрілості. З таких позицій множину властивостей зрілості  $\mathbf{M} = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_j\}$  з визначенням на ній розподілом ймовірностей можна розглядати як джерело інформації з вихідною невизначеністю (за умовою незалежності властивостей)

$$S(\mathbf{M}) = - \sum_{j=1}^m p(\mu_j) \log p(\mu_j), \quad (2)$$

де  $p(\mu_j)$  – безумовна ймовірність появи  $\mu_j$ -ї властивості зрілості у процесу;  $S(\mathbf{M})$  – ентропія множини властивостей зрілості.

Нехай процес набув визначеної властивості зрілості  $x_i$ . Тоді можна записати

$$S(\mathbf{M}/x_i) = - \sum_{j=1}^m p(\mu_j/x_i) \log p(\mu_j/x_i). \quad (3)$$

Рівень зрілості CML характеризується наявністю набору властивостей зрілості  $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_l\} \in \mathbf{M}$ . Тоді можна записати вираз для повної ентропії рівня зрілості:

$$S(\mathbf{M}/\mathbf{X}) = - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m p(x_i) p(\mu_j/x_i) \log p(\mu_j/x_i). \quad (4)$$

Кількість інформації, яку можна отримати про процес у разі набуття їм визначеної властивості зрілості, можна визначити як

$$I_{\mathbf{X}} = S(\mathbf{M}) - S(\mathbf{M}/\mathbf{X}). \quad (5)$$

З вищенаведеного слідує, що ентропія процесу може служити мірою зрілості процесу. Але використання виразів (2) – (5) для отримання ентропійної оцінки досить важко, оскільки практично неможливо отримати чисельні значення ймовірностей, що входять до цих формул.

Інший підхід базується на врахуванні властивостей функції ентропії. Функція ентропії володіє різноманітними властивостями, однією з яких є властивість адитивності [10]. У відповідності до цієї властивості ентропія системи, що складається з двох статистично незалежних підсистем, дорівнює сумі ентропії кожної з підсистем. У відповідності до формалізованої моделі процесу [11], він може бути представлений конструкцією виду:

$$P = \langle (\text{Tar}, Z), d(O), V^{\text{in}}, V^{\text{out}}, \text{PS}, R \rangle.$$

Стан процесу може бути описано через опис станів складових елементів процесу. Якщо величину ентропії процесу  $S(P)$  пов'язати з відсутністю докладної інформації про його внутрішню побудову та врахувати властивість адитивності ентропії, то справедливо таке

$$S(P) = S(\text{Pur}) + S(d(O)) + S(V^{\text{in}}) + S(V^{\text{out}}) + S(\text{PS}) + S(R) + S(\varepsilon), \quad (6)$$

де  $S(\text{Pur}) = S(\text{Tar}) + S(Z)$  – невизначеність призначення процесу;  $S(\text{Tar})$  – невизначеність цілей;  $S(Z)$  – невизначеність результатів;  $S(d(O))$  – структурна невизначеність процесу;  $S(V^{\text{in}}) = S(I^{\text{in}}) + S(M^{\text{in}})$  – невизначеність множини вхідних інформаційних та матеріальних потоків;  $S(V^{\text{out}}) = S(I^{\text{out}}) + S(M^{\text{out}})$  – невизначеність множини вихідних інформаційних та матеріальних потоків;  $S(\text{PS})$  – невизначеність множини учасників процесу (невизначеність за складом, ролями, відповідальністю тощо);  $S(R)$  – невизначеність множини ресурсів процесу;  $S(\varepsilon)$  – невизначеність нових емерджентних властивостей, що притаманні виключно процесу як цілому.

Таким чином, ентропію процесу можна визначити через визначення ентропії складових елементів. Однак оцінка ентропії елементів за виразом (6) ускладнюється достатньо великим обсягом обчислень.

Наведені вище міркування та співвідношення дозволяють нам стверджувати, що змінення зрілості певною мірою залежить від змінення ентропії процесу. На кожному рівні зрілості процес може бути охарактеризований певним рівнем впорядкованості (організації) та, відповідно, буде мати певну величину ентропії. Причому, чим вище рівень впорядкованості (нижче рівень ентропії), тим вище рівень зрілості процесу. Враховуючи властивості ентропії можна записати таку нерівність

$$S(CML_0) > S(CML_1) > S(CML_2) > \dots > S(CML_N), (7)$$

де  $S(CML_i)$  – ентропія процесу, що знаходиться на  $i$ -му рівні зрілості.

### Вплив ентропії на формування зрілості процесу

Представимо залежність зрілості від ентропії (негентропії) функцією виду

$$\mu = f^{-1}(S) = f(NS). (8)$$

Графічно цю залежність можна представити у такому вигляді (рис. 1).

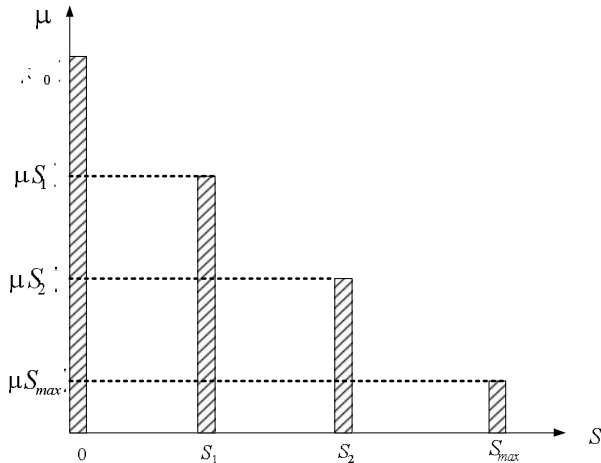


Рис. 1. Залежність величини зрілості від величини ентропії

Графік наглядно ілюструє закономірність, що міститься у нерівності (7): якщо збільшити ентропію процесу з рівня  $S_1$  до рівня  $S_2$ , то зрілість процесу має зменшитися з рівня  $\mu(S_1)$  до  $\mu(S_2)$ , тобто відбудеться дезорганізація (зменшення впорядкованості) процесу. І навпаки, якщо зменшити ентропію, то рівень зрілості збільшиться, тобто відбудеться організація процесу, що відповідає новому рівню ентропії.

Підкреслимо цю закономірність у формі такого висновку: кожному рівню зрілості процесу однозначно відповідає своє значення ентропії. Функція визначення значення ентропії на різних рівнях зрілості процесу, у загальному випадку, відрізняються одна від одної кількістю змінних. На кожному рівні зрілості  $CML_i$  процес знаходиться у деякому стаціонарному, с точки зору ентропії, стані. Стаціонарний стан характеризується тим, що процеси зростання ентропії та спадання ентропії врівноважують один одного.

С позицій ентропійного підходу рівень зрілості процесу  $CML_i$  є стаціонарний стан процесу. Величина зрілості процесу  $\mu_i$  у такому стані може бути охарактеризована величиною ентропії процесу  $S(CML_i)$  або інформаційною ємністю рівня  $I(CML_i)$ .

Зміна ентропії процесу обумовлено загальносистемними закономірностями її зростання та спадання [4 – 7].

Звернемося до рис. 2.

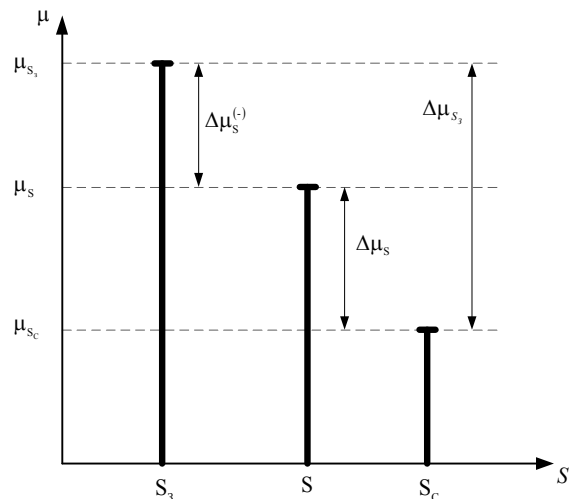


Рис. 2. Закономірність убавання ентропії та рівень зрілості

Нехай процес  $P$  знаходиться у стаціонарному стані, який характеризується деяким значенням ентропії  $S_C$ . Рівень зрілості процесу позначимо як  $\mu_{S_C}$ . Внаслідок зовнішніх та внутрішніх впливів відбувається змінення ентропії процесу. Тоді можна записати такий вираз для змінення зрілості процесу

$$\Delta\mu_S = \mu_S - \mu_{S_C}. (9)$$

Прирощення зрілості, на яке зменшиться значення  $\mu_S$  по мірі зростання ентропії  $S$  відносно значення ентропії, що відповідає максимально зрілому процесу, позначимо через  $\Delta\mu_S^{(-)}$

$$\Delta\mu_S^{(-)} = \mu_S - \mu_{S_3} < 0. (10)$$

З іншого боку для змінення зрілості максимально зрілого процесу можна записати

$$\Delta\mu_{S_3} = \mu_{S_3} - \mu_{S_C} \quad (11)$$

Виражаючи з (10) значення  $\mu_S$ , а з (11) величину  $\mu_{S_3}$  та підставляючи їх в (9), отримуємо

$$\Delta\mu_S = \Delta\mu_{S_3} + \Delta\mu_S^{(-)} \quad (12)$$

Таким чином, прирощення зрілості процесу складається з позитивного прирощення  $\Delta\mu_{S_3}$ , що обумовлено дією закону убавання ентропії та негативного прирощення  $\Delta\mu_S^{(-)}$ , що обумовлено закономірністю зростання ентропії. Процес може розглядатися як відкрита системи та характеризується деяким ступенем взаємодії з оточенням, з іншими процесами. Розвиток (підвищення зрілості) процесу буде обумовлюватися дією як закону убавання ентропії, так і закону зростання ентропії. Саме у протиставленні цих двох закономірностей буде визначатися знак змінення сумарної зрілості процесу в бік або зростання (еволюція, розвиток процесу), або убавання (деградація, дезорганізація процесу). Коли дія обох закономірностей компенсується, процес переходить у точку стаціонарності (але не рівноваги).

### Висновки

Зрілість є системною властивістю процесів захисту інформації на формування якої суттєвий вплив мають загальносистемні закономірності. Виявлення таких закономірностей є дуже важливою та актуальною задачею у методологічному плані. Це дозволяє більш глибоко зрозуміти природу формування зрілості. Встановлено, що на формування зрілості впливає закономірність убавання (зростання) ентропії процесу. Кожному рівню зрілості процесу однозначно відповідає своє значення ентропії. Функції визначення значення ентропії на різних рівнях зрілості процесу, у загальному випадку, відрізняються одна від одної кількістю змінних. На кожному рівні зрілості  $SML_i$  процес знаходиться у деякому стаціонарному, с точки зору ентропії, стані. Стаціонарний стан характеризується тим, що процеси зростання ентропії та спадання ентропії врівноважують один одного.

Законо формування властивостей зрілості пояснюються таким системним правилом: прирощення зрілості процесу складається з позитивного прирощення  $\Delta\mu_{S_3}$ , що обумовлено дією закону убавання

ентропії та негативного прирощення  $\Delta\mu_S^{(-)}$ , що обумовлено закономірністю зростання ентропії.

Таким чином, ентропія може розглядатися як міра зрілості процесу захисту інформації. Отримані результати вказують подальші напрямки досліджень з метою розроблення методів оцінювання зрілості на основі використання моделей та методів ентропійного підходу.

### Список літератури

1. Потій О.В. Сутність категорії „зрілість” та змістовна модель зрілості процесів захисту інформації // *Прикладная радиоэлектроника. Тематический выпуск, посвященный проблемам обеспечения безопасности информации.* – 2006. – Т. 5, № 1. – С. 139-147.
2. Потій О.В. Змістовна модель зрілості процесів захисту інформації // *Матеріали II наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 15-16 лютого 2006 року.* – Х.: ХУ ПС, 2006 – С. 148.
3. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами.* – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.
4. Шаповалов В.И. *Энтропия, самоорганизация и глобальные тенденции* // *Автоматизация и производство.* – 2005. – № 3. – С. 1-21.
5. Шаповалов В.И. *Формирование системных свойств и статистический подход* // *Автоматика и телемеханика.* – 2001. – № 6. – С. 57-68.
6. Шаповалов В.И. *Синергетические методы и модели структурообразования в открытых системах: Автореф. дисс... доктора технических наук.* – Таганрогский государственный радиотехнический университет. – 2006. – 24 с.
7. Прангишвили И.В. *Системный подход и общесистемные закономерности.* – М.: СИНТЕГ, 2000. – 230 с.
8. Поплавский Р.П. *Демон Максвелла и соотношения между информацией и энтропией* // *Успехи физических наук.* – 1979. – Т. 128, вып. 1. – С. 165-175.
9. Козодаев А.А. *Введение в СММІ [Электронный ресурс].* – Режим доступа: [www.interface.ru](http://www.interface.ru).
10. Киттель Ч. *Статистическая термодинамика.* – М.: Наука, 1977. – 340 с.
11. Потий А.В. *Формальная модель процесса защиты информации* // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи: Науково-технічний журнал.* – 2006. – № 5. – С. 75-80.

Надійшла до редколегії 11.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.Д. Горбенко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.