



УДК 519.711.3,519.816

© 2010

Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко

## Оцінювання багатofакторних ризиків в стратегії розв'язання задач технологічного передбачення

(Представлено академіком НАН України М. З. Згуровським)

*Запропоновано процедуру оцінювання багатofакторних ризиків при розв'язанні задач технологічного передбачення методом морфологічного аналізу. Розглядається метод класифікації за ступенем і рівнем ризику конкретних сценаріїв з морфологічної таблиці або ситуації, що описується морфологічною таблицею в цілому, за умов невизначеності станів її параметрів.*

Для сучасних складних систем різної природи особливу важливість мають проблеми стратегічного планування нових напрямів і тенденцій глобалізації інноваційної діяльності, які вирішуються з застосуванням методології технологічного передбачення [1]. Подати проблему в структурованому вигляді, що дозволяє розглянути всю множину варіантів досліджуваного об'єкта, виявити зв'язки між параметрами задачі, визначити, які параметри є найбільш суттєвими і яка інформація потребує уточнення, дозволяє метод морфологічного аналізу. Це потужний метод дослідження складних багатовимірних систем, який поряд з іншими методами якісного аналізу успішно застосовується в процесі технологічного передбачення [1–3].

Пошук нових шляхів вирішення стратегічного планування інноваційної діяльності, як правило, супроводжуються існуванням багатofакторних ризиків різної природи [4]. Це викликає необхідність розробки методів і прийомів їх врахування при проведенні якісного аналізу, зокрема, морфологічного. Тому в нашій статті увага приділяється розробці формалізованої стратегії аналізу багатofакторних ризиків з урахуванням специфіки методу морфологічного аналізу. Розглядаються три групи факторів ризику: фактори ризику не прогнозованих ситуацій, фактори форс-мажорного ризику, фактори інформаційного ризику, зумовлені неточністю, неповнотою, недостовірністю вихідної інформації.

Оцінювання ризиків в задачі будемо проводити з застосуванням двох показників — ступеня ризику і рівня ризику [4, 5]. Ступінь ризику  $\eta$  визначимо як імовірність появи події, що

призводить до небажаних наслідків, а рівень ризику  $W$  — як розмір потенційного збитку у разі впливу факторів ризику.

**Постановка задачі.** Нехай для розглядуваної задачі визначено множину характеристичних параметрів  $F = \{F_j \mid j = \overline{1, n}\}$ . Кожний з цих параметрів може набувати  $n_j$  станів (табл. 1).

Сформовано стандартну множину  $M_{ст}$  факторів ризику  $\rho_q$ :

$$M_{ст} = \{\rho_q \mid q = \overline{1, n_{ст}}\}.$$

Кожний фактор ризику  $\rho_q \in M_{ст}$  характеризує множина  $L_q$  ознак  $l_{qj}$ , в якості яких виступають характеристичні параметри; від них залежить  $q$ -й фактор ризику:

$$L_q = \{l_{qj} \mid q \in N_{ст}; j \in P^{(q)}\}, \quad N_{ст} = [1; n_{ст}],$$

де  $P^{(q)} \subseteq [1; N]$  — підмножина індексів характеристичних параметрів, від яких залежить  $q$ -й фактор ризику.

Кожну ознаку  $l_{qj} \in L_q$  визначає показник  $x_{qj} \in [1; n_j]$  — стан  $j$ -го параметра. Таким чином, для кожного фактора ризику  $\rho_q$  формують інформаційний вектор

$$I_q = \{x_{qj} \mid x_{qj} \in [1; n_j]; j \in P^{(q)}\}.$$

Кожному стану  $a_k^{(j)}$ ,  $k \in [1; n_j]$ , параметра  $F_j$ ,  $j \in P^{(q)}$ , відповідають значення ступеня  $\eta_{qjk} \in [0; 1]$  і рівня ризику  $W_{qjk} \in [0; 1]$  для кожного фактора ризику  $\rho_q$ .

В межах розробленої методології проводиться класифікація за ступенем і рівнем ризику:

- 1) конкретних сценаріїв з морфологічної таблиці;
- 2) ситуації, що описується морфологічною таблицею, за умов невизначеності станів її параметрів.

Визначимо класи  $\Omega_{i_1, i_2}$  на основі сформованих інтервалів для ступеня і рівня ризику у такому вигляді [4]:

$$\Omega_{i_1, i_2} = \{(\eta_{i_1}, W_{i_2}) \mid \eta_{i_1} \in [\eta_{i_1}^-, \eta_{i_1}^+], W_{i_2} \in [w_{i_2}^-, w_{i_2}^+]\},$$

де  $i_1 \in M_1$ ;  $i_2 \in M_2$ ;  $M_1 = [1; m_1]$ ;  $M_2 = [1; m_2]$ ;  $\eta_1^- = 0$ ;  $\eta_{m_1}^+ = 1$ ;  $w_1^- = 0$ ;  $w_{m_2}^+ = 1$ .

Розглянемо деякий сценарій  $S = \{a_{s_1}^{(1)}, a_{s_2}^{(2)}, \dots, a_{s_j}^{(j)}, \dots, a_{s_N}^{(N)}\}$ , де  $s_j$  — номер стану, якого набув параметр  $F_j$ . Сценарію  $S$  відповідає набір значень ступеня  $\eta_{qj s_j}$  і рівня ризику  $W_{qj s_j}$ , пов'язаних зі станами параметрів сценарію  $a_{s_j}^{(j)}$ ,  $j \in [1; N]$ .

Розглянемо першу групу факторів ризику — факторів ризику непрогнозованих ситуацій. Для кожного параметра  $F_j$  необхідно обчислити ступінь ризику, зумовлений впливом

Таблиця 1. Морфологічна таблиця

$F_1$	$F_2$	...	$F_j$	...	$F_N$
$a_1^{(1)}$	$a_1^{(2)}$	...	$a_1^{(j)}$	...	$a_1^{(N)}$
$a_2^{(1)}$	$a_2^{(2)}$	...	$a_2^{(j)}$	...	$a_2^{(N)}$
...	...	...	...	...	...
$a_{n_1}^{(1)}$	$a_{n_2}^{(2)}$	...	$a_{n_j}^{(j)}$	...	$a_{n_N}^{(N)}$

всіх факторів ризику множини  $M_{ст}$ . Якщо вважати, що фактори ризику незалежні, то ймовірність впливу хоча б одного з множини факторів ризику визначатиме співвідношення

$$\eta_j^{(ns)} = 1 - \prod_{q=1}^{n_{ст}} (1 - \eta_{qjs_j}). \quad (1)$$

Друга група факторів ризику описує ризик, зумовлений факторами форс-мажорного ризику, що призводять до появи надзвичайних і несприятливих за певних умов подій. Ці фактори не входять до  $M_{ст}$ , їх оцінюють окремо за допомогою експертних методів, базуючись на результатах багаторічних спостережень, а також досвіді, знаннях та інтуїції експертів. Вважатимемо, що ступінь ризику факторів неусувної сили характеризує ймовірність появи цих подій, яку позначимо  $\eta_j^{(fm)}$ .

Третя група факторів ризику описує ризик, зумовлений неповнотою, неточністю, недостовірністю інформації. Ступінь ризику впливу цього фактора зумовлений тим, що через неповноту, неточність і невизначеність інформації виникають події, які характеризуються небажаними наслідками. Для методу морфологічного аналізу це означає існування неврахованих параметрів або станів параметрів, викривлення реальної картини через неточність експертних оцінок. Позначимо ступінь ризику цього виду  $\eta_j^{(in)}$ .

Ймовірність настання небажаної події, пов'язаної зі впливом факторів ризику хоча б однієї із зазначених груп, внаслідок незалежності подій різних груп визначає відношення

$$\eta_j = 1 - (1 - \eta_j^{(ns)})(1 - \eta_j^{(fm)})(1 - \eta_j^{(in)}),$$

де  $\eta_j^{(ns)}$ ,  $\eta_j^{(fm)}$ ,  $\eta_j^{(in)}$  — ступінь ризику відповідно факторів ризику множини  $M_{ст}$ , форс-мажорних подій та інформаційної невизначеності.

Розглянемо спосіб обчислення належності окремих параметрів і сценаріїв в цілому до класів  $\Omega_{i_1, i_2}$  за ступенем і рівнем ризику.

Нехай деяке значення  $\eta_j$  нечітко включається в інтервал  $[\eta_{i_1}^-; \eta_{i_1}^+)$  функцією належності  $\mu_{i_1}(\eta_j)$ . Значення цієї функції можна обчислити для окремих характеристичних параметрів морфологічної таблиці. Функція належності сценарію  $S$  в цілому до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$  будується залежно від специфіки задачі, зокрема, зв'язку між характеристичними параметрами і їх впливу на фактори ризику. В більшості випадків, коли ці параметри взаємопов'язані, тобто характеризують один і той самий чинник виникнення ситуації ризику, значення функції належності сценарію  $S$  до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$  за ступенем ризику можна обчислити таким чином:

$$\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(\eta)}(S) = 1 - \prod_{j \in F(ст)} (1 - \mu_{i_1}(\eta_j))^{1/n_{ст}}. \quad (2)$$

Аналогічно знаходимо значення функції належності сценарію  $S$  до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$  за рівнем ризику.

Тоді значення функції належності сценарію  $S$  класу  $\Omega_{i_1, i_2}$  за обома показниками:

$$\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}(S) = \sqrt{\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(\eta)}(S) \mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(W)}(S)}. \quad (3)$$

Використовуючи співвідношення (3), можна побудувати таблицю нечіткої належності розглядуваного сценарію до кожного з класів  $\Omega_{i_1, i_2}$ .

Попередня задача виникає при необхідності розглянути окремі сценарії або порівняти конфігурації морфологічної таблиці з точки зору факторів ризику. Більш складна задача постає у випадку необхідності аналізу ситуації, що описується морфологічною таблицею в цілому. Така задача виникає, якщо параметри морфологічної таблиці є зовнішніми, не залежними від нас факторами, які можуть набувати будь-якого із своїх можливих станів. У такому випадку стани параметрів будемо розглядати як двійки  $\langle x_{jk}, p_{jk} \rangle$ ,  $j \in [1; N]$ ,  $k \in [1; n_j]$ , де  $x_{jk} \in [1; n_j]$  — номер стану параметра  $F_j$ ,  $p_{jk} \in [0; 1]$  — ймовірність його появи, яка обчислюється в ході процедури морфологічного аналізу [3].

Як і в попередній задачі, розрахуємо за формулою (1) зведені за всіма факторами ризику показники ступеня ризику  $\eta_{jk}$  для кожного стану кожного параметра. Однак поява певного стану параметра морфологічної таблиці тепер реалізується з деякою ймовірністю, і це потрібно врахувати в показнику ступеня ризику:  $\tilde{\eta}_{jk} = \eta_{jk} p_{jk}$ . Таким чином, для кожного параметра  $F_j$  отримаємо набір значень  $\tilde{\eta}_{jk}$ ,  $k \in \overline{1, n_j}$ . За умови, що появи кожного зі станів параметра є незалежними подіями, ступінь ризику, зумовлений параметром  $F_j$ , знаходимо як суму:

$$\tilde{\eta}_j = \sum_{k=1}^{n_j} \tilde{\eta}_{jk} = \sum_{k=1}^{n_j} \eta_{jk} p_{jk}.$$

Після проведення таких перетворень для всіх параметрів можна обчислити значення функції належності за ступенем ризику ситуації  $\tilde{S}$  до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$ :

$$\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(\eta)}(\tilde{S}) = 1 - \prod_{j \in F^{(ст)}} (1 - \mu_{i_1}(\tilde{\eta}_j))^{1/n_{ст}}.$$

Так само знаходимо значення функції належності ситуації  $\tilde{S}$  до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$  за рівнем ризику.

Після цього аналогічно, як і для попередньої задачі, отримаємо функцію належності розглядуваної ситуації  $\tilde{S}$  до класу  $\Omega_{i_1, i_2}$ :

$$\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}(\tilde{S}) = \sqrt{\mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(\eta)}(\tilde{S}) \mu_{\Omega_{i_1, i_2}}^{(W)}(\tilde{S})}.$$

Розглянемо приклад задачі для морфологічної таблиці з трьома параметрами. Нехай існують два фактори ризику  $\rho_1, \rho_2$ , пов'язані з вибором конфігурації морфологічної таблиці, причому  $\rho_2$  не залежить від одного з параметрів морфологічної таблиці. Значення ступеня і рівня ризику при виборі різних альтернатив параметрів наведені в табл. 2. Форс-мажорний ризик і ризик, зумовлений неточністю інформації, в прикладі не розглядаються.

Таблиця 2. Значення ступеня і рівня ризику для різних альтернатив параметрів морфологічної таблиці

$F_1$	$\rho_1$		$\rho_2$		$F_2$	$\rho_1$		$\rho_2$		$F_3$	$\rho_1$		$\rho_2$	
	$\eta$	$W$	$\eta$	$W$		$\eta$	$W$	$\eta$	$W$		$\eta$	$W$	$\eta$	$W$
$a_1^{(1)}$	0,01	0,8	0,1	0,5	$a_1^{(2)}$	0,1	0,3	—	—	$a_1^{(3)}$	0,15	0,2	0,4	0,1
$a_2^{(1)}$	0,05	0,6	0,01	0,5	$a_2^{(2)}$	0,3	0,3	—	—	$a_2^{(3)}$	0,1	0,3	0,3	0,2
$a_3^{(1)}$	0,2	0,4	0,01	0,8	$a_3^{(2)}$	0,01	0,7	—	—	$a_3^{(3)}$	0,02	0,9	0,2	0,5

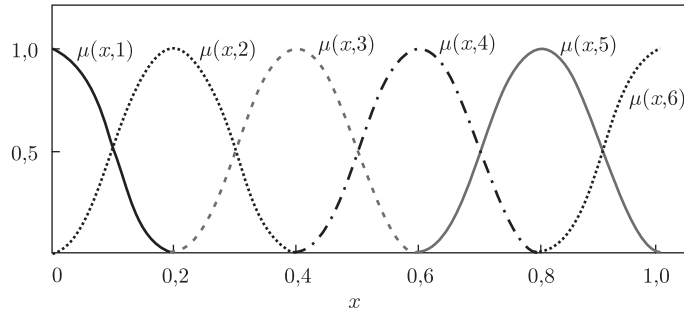


Рис. 1. Функції належності для визначених інтервалів

Сформуємо інтервали для ступеня і рівня ризику, розбивши вихідний інтервал  $[0; 1]$  на шість півінтервалів:

$$\begin{aligned}
 I_{\eta}^1 &= [0; 0,1); & I_{\eta}^2 &= [0,1; 0,3); & I_{\eta}^3 &= [0,3; 0,5); \\
 I_{\eta}^4 &= [0,5; 0,7); & I_{\eta}^5 &= [0,7; 0,9); & I_{\eta}^6 &= [0,9; 1]; \\
 I_W^1 &= [0; 0,1); & I_W^2 &= [0,1; 0,3); & I_W^3 &= [0,3; 0,5); \\
 I_W^4 &= [0,5; 0,7); & I_W^5 &= [0,7; 0,9); & I_W^6 &= [0,9; 1].
 \end{aligned}$$

Належність величин ступеня та рівня ризику певному інтервалу будемо визначати за допомогою функції належності класу  $\pi$  [6] (рис. 1)

$$\pi(x, a, b, c) = \begin{cases} s\left(x; c - b; c - \frac{b}{2}; c\right), & x \leq c; \\ 1 - s\left(x; c; c + \frac{b}{2}; c + b\right), & x \geq c, \end{cases} \quad (4)$$

де

$$s(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ 2\left(\frac{x - a}{c - a}\right)^2, & a \leq x \leq b; \\ 1 - 2\left(\frac{x - c}{c - a}\right)^2, & b \leq x \leq c; \\ 1, & x \geq c. \end{cases}$$

За допомогою співвідношення (1) обчислимо ступінь та рівень ризику для кожної з альтернатив параметрів  $F_1, F_3$ , зумовлений наявністю двох факторів ризику. Наприклад, для стану  $a_1^{(1)}$ :

$$\eta_1 = 1 - (1 - 0,01)(1 - 0,1) = 0,109.$$

Для отриманих значень обчислимо їх належність до інтервалів  $I_{\eta}^1, \dots, I_{\eta}^6; I_W^1, \dots, I_W^6$ , використовуючи функцію (4). В табл. 3 наведені значення ступеня ризику для ко-

Таблиця 3. Значення ступеня ризику і функції належності для альтернатив параметрів

$F_1$	$\eta_1$	$\mu_2(\eta_1)$	$F_2$	$\eta_2$	$\mu_2(\eta_2)$	$\eta_3$	$F_3$	$\mu_2(\eta_3)$
$a_1^{(1)}$	0,109	0,586	$a_1^{(2)}$	0,1	0,5	$a_1^{(3)}$	0,49	0
$a_2^{(1)}$	0,06	0,177	$a_2^{(2)}$	0,3	0,5	$a_2^{(3)}$	0,37	0,045
$a_3^{(1)}$	0,208	0,997	$a_3^{(2)}$	0,01	0,005	$a_3^{(3)}$	0,216	0,987

Таблиця 4. Результати визначення включення сценаріїв  $S_1, S_2, S_3$  у класи  $\Omega_{i_1, i_2}$

$S_1$	Номер класу за $\eta/W$	1	2	3	4	5	6
	1	0	0,183	0,183	0	0,198	0,314
	2	0	0,432	0,432	0	0,467	0,738
	3	0	0,206	0,206	0	0,223	0,352
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
$S_2$	Номер класу за $\eta/W$	1	2	3	4	5	6
	1	0	0,534	0,331	0,432	0,951	0
	2	0	0,142	0,088	0,115	0,253	0
	3	0	0,287	0,177	0,231	0,51	0
	4	0	0,224	0,139	0,181	0,399	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
$S_3$	Номер класу за $\eta/W$	1	2	3	4	5	6
	1	0	0,206	0,368	0,075	0,255	0,158
	2	0	0,427	0,764	0,155	0,529	0,328
	3	0	0,365	0,651	0,132	0,451	0,279
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0

жного зі станів параметрів і відповідні їм значення функції належності до півінтервалу  $[0,1; 0,3)$ .

Аналогічні таблиці будуються для всіх інших півінтервалів як для ступеня ризику, так і для рівня ризику.

В задачі було розглянуто три сценарії:  $S_1 = \{a_1^{(1)}, a_2^{(2)}, a_3^{(3)}\}$ ,  $S_2 = \{a_2^{(1)}, a_3^{(2)}, a_1^{(3)}\}$ ,  $S_3 = \{a_3^{(1)}, a_1^{(2)}, a_2^{(3)}\}$ . За допомогою співвідношень (2), (3) було побудовано таблиці належності сценаріїв  $S_1, S_2, S_3$  до всіх класів  $\Omega_{i_1, i_2}$ .

Таким чином, розроблена методика оцінки багатофакторних ризиків при проведенні морфологічного аналізу дозволяє класифікувати описані морфологічною таблицею сценарії за ступенем та рівнем ризику. Ця інформація доповнює результати методу морфологічного аналізу і може бути використана для прийняття рішень з вибору тієї чи іншої стратегії.

1. *Згуровский М. З., Панкратова Н. Д.* Технологическое предвидение. – Киев: ІВЦ “Вид-во “Політехніка”, 2005. – 156 с.
2. *Ritchey T.* Futures Studies using Morphological Analysis / Adapted from an article for the UN University Millennium Project: Futures Research Methodology Series, 2005. – 14 p.
3. *Панкратова Н. Д., Савченко І. О.* Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення // *Наук. вісті НТУУ “КПІ”*. – 2009. – № 2. – С. 35–44.

4. Zgurovsky M. Z., Pankratova N. D. System analysis: theory and applications. – Berlin: Springer, 2007. – 475 p.
5. Pankratova N., Kurilin B. Conceptual foundations of the system analysis of risks in dynamics of control of complex system safety. Part 2. The general problem of the system analysis of risks and the strategy of its solving // J. of automation and information sciences. – 2001. – **33**, No 4. – P. 1–14.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

ННК “Інститут прикладного системного аналізу”  
НТУ України “КПІ”, Київ

Надійшло до редакції 16.12.2009

**N. D. Pankratova, I. O. Savchenko**

### **Evaluating the multiple-factor risks in technological foresight problem solution strategy**

*A procedure for evaluating the multiple-factor risks during the solution of technological foresight problems within the morphological analysis method is suggested. A method for the classification of specific scenarios in the morphological table or the situation described by the morphological table as a whole under indeterminate parameter conditions by a degree and a level of risks is considered.*