УДК 519.8+004.81

В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверін, О.В. Воробйов, І.А. Нос

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА РИЗИКУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЗМІСТОВНОСТІ ПРОГНОЗОВАНИХ ЧІТКИХ ПІДМНОЖИН ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ НА РОЗВИТОК ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

Сутність змістовності складної системи визначається природною спрямованістю значного за обсягом переліком факторів, які вводить до розгляду особа, яка приймає рішення (ОПР), при опису процесу функціонування її за часом. Складна система володіє властивістю формування власної поведінки розвитку процесу її функціонування за часом. Когнітивна модель процесу функціонування передбачає експертне визначення значущостей факторів з урахуванням їх багатовпливовості як значень функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів, які за означенням складають повну кінцеву множину. Змінні, які відповідають факторам, є випадковими немасового характеру та є мінливими за часом. Когнітивна модель тому відповідає стану при t=τ функціонування складної системи, а прийняте значення α функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги викреслює, на момент часу t=τ, чітку підмножину впливових фактрів, за розумінням ОПР, на власну поведінку розвитку процесу функціонування складної системи. Подається оцінка ефективності та ризику прийняття рішення ОПР щодо прогнозованої змістовності чіткої підмножини факторів при прийнятому α для реалізації цілеспрямованого впливу щодо запобігання негативних тенденцій формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи.

Ключові слова: *складна система, нечітка підмножина, підмножина впливових факторів, ефективність, ризик, прийняття рішення.*

Вступ

Постановка проблеми. Прийняття рішення ОПР щодо змістовності чіткої підмножини впливових факторів як чіткої підмножини α-рівневих носіїв функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини

$$D = \{d_i\},\ i = \overline{1,m},$$

які введені нею для опису функціонування складної системи, визначається з метою запобігання впливу можливих негативних тенденцій та посилення впливу позитивних тенденцій на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом. Формування нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини D досягається шляхом постановки експертизи та обробкою експертних даних при визначенні змістовності когнітивної карти та когнітивної моделі опису процесу функціонування складної системи за часом в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі. Суб'єктивні судження щодо нестрогої переваги $d \succ d'$ для кожної пари $(d, d') \in \tilde{R}; \forall d, d' \in D,$ з урахуванням багатовпливовості решти факторів $d_r \in D, r = \overline{1,m}; r \neq i$, експерти формують на основі вихідної інформації та особистого досвіду. Інформація, змістовність та обсяг якої подається ОПР, відповідає моменту часу t=τ, тому когнітивна модель відповідає стану функціонування складної системи, який складається на t=τ. Значення функції приналежності нечіткої підмножини відповідають рівням недомінованостей $d_i \in D, i = \overline{1,m}$ у відповідності до розуміння змістовності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги елементів $D = \{d_i\},\ i = \overline{1,m}$. Це означає, що значущість факторів $d_i \in D, i = \overline{1,m}$, яка покладена в основу формування чіткої підмножини впливових факторів, також відповідає стану функціонування складної системи на t=τ. Тому доцільно ставити задачу оцінки ефективності та ризику прийняття рішення ОПР щодо формування чіткої підмножини впливових факторів, як α-рівневих носіїв функції приналежності нечіткої підмножини, а також задачу прогнозування змістовності та обсягу впливових факторів на визначений термін часу $(t, t + t_к)$. Тоді проблема має зміст: змістовність прогнозованих чітких підмножин впливових факторів на основі прогнозування значущостей факторів і оцінок ефективності та ризику прийняття рішень щодо формування нечітких підмножин ядер нечітких бінарних відношень строгої переваги факторів $d_i \in D, i = \overline{1,m}$.

Аналіз літератури. В [1] приведені означення нечіткого відношення елементів будь-якої множини та його основні властивості, а також ядра нечіткого бінарного відношення. В [3] визначено розуміння змістовності складної системи та методологічні основи опису її функціонування в нечіткому нестохас-

© В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверін, О.В. Воробйов, І.А. Нос

тично невизначеному середовищі, яке формується під впливом факторів, відповідні змінні яких є випадковими немасового характеру. В [4, 5] висвітлено методичний підхід визначення значущості факторів на основі розуміння недомінованості елементів множини, яка відповідає множині факторів. В [4] розглянуто метод визначення значущості факторів з урахуванням впливу решти для пари елементів, бінарне нечітке відношення для якої розглядається. Новизна цього метода полягає в тому, що значущість факторів з урахуванням впливу решти може бути визначена для факторів, сукупність яких складає множину будь-якого великого обсягу. В основу розробки метода покладена ієрархічна декомпозиція структури факторів. В [5] запропоновано погляд на формування когнітивної карти, що дозволило вийти на розуміння змістовності корегування значень значущості факторів з точки зору цілеспрямованого функціонування складної системи.

В [2] визначено розуміння ефективності та ризику прийняття рішень ОПР при опису явищ природи, до яких ОПР проявляє зацікавленість, нечіткими підмножинами. Запропоновано в якості показника ефективності розглядати чисельну міру чіткості нечіткої підмножини, а в якості показника ризику – чисельну міру нечіткості нечіткої підмножини. В [6, 7] розглянуті змістовність когнітивної моделі функціонування складної системи, яка описується нечіткою підмножиною ядра нечітких бінарних відношень строгої переваги факторів множини $D=\{d_i\}, i=\overline{1,m}$, які ОПР ввела для опису цілеспрямованого функціонування складної системи. В [6, 7] також розглянуто підхід щодо формування чіткої підмножини впливових факторів як чіткої підмножини α-рівня функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини, яка введена ОПР для опису когнітивної моделі. Значення значущостей факторів, які отримані за підходом визначеним в [6, 7], відповідають стану при t=τ функціонування складної системи. При розгляді цілеспрямованого функціонування складної системи значущості факторів слід вважати мінливими. Це означає, що чітка підмножина впливових факторів за своїм переліком факторів є мінливою за часом.

Мета статті полягає в оцінці ефективності та ризику прийняття рішення щодо змістовності та обсягу прогнозованих чітких підмножин впливових факторів на основі експертного прогнозування рівнів значущостей факторів.

Основна частина

Розуміння складної системи у відповідності до [3] визначається природною спрямованістю факторів, які ОПР, виходячи із своїх суб'єктивних суджень, вводить до розгляду та які складають множину $D=\{d_i\}, i=\overline{1,m}$ значного обсягу. Змінні, які можуть бути поставлені у відповідність факторам, за своєю природою є випадковими немасового характеру. Когнітивне моделювання процесу функціонування складної системи за часом передбачає формування когнітивної моделі, яка включає наявність значущості факторів та, виходячи із визначеного ОПР змісту цілеспрямованості процесу функціонування складної системи за часом, змістовність зв'язків між ними.

Відзначене вище щодо природного характеру змінних, які відповідають факторам, дає підстави стверджувати, що значущості факторів можуть бути визначені тільки при постановці експертизи. Значний обсяг факторів, який може складати декілька десятків, та їх, за значною переважністю, багатовпливовість, приводять до необхідності передбачати експертизу по формуванню функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрогої переваги $\tilde{R}_{D\succ}$ на множині $D=\{d_i\}, i=\overline{1,m}$ та обробку експертних даних з метою визначення нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини D виду

$$\tilde{M}=\bigcup_{i=1}^{m}\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}(d_i)/d_i\right\}, \qquad (1)$$

де $\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}(d_i)$ – значення функції приналежності $M_{\tilde{R}_{D\succ}}$ - ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів на множині $D=\{d_i\}, i=\overline{1,m}$, яка має тлумачення недомінованості факторів.

Принцип, який полягає в тому, що рівень недомінованості елементів (факторів) множини D приймається за рівень значущості факторів, які відповідають вершинам когнітивної карти та когнітивної моделі функціонування складної системи, є прийнятим при поданні [4, 5]. При викладені вирішення проблем, які зазначені в [6, 7], визначений принцип приймається, але значення $\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}$ корегуються з метою врахування наявності багатовпливовості факторів.

Складна система у відповідності до [3, 4, 5] здатна формувати власну поведінку процесу розвитку її функціонування за часом. Із множини факторів, які ОПР ввела для опису процесу функціонування складної системи та врахувала при визначенні когнітивної моделі цього процесу, ОПР виділяє із $D=\{d_i\}, i=\overline{1,m}$ підмножину впливових факторів, впливом на які ОПР може розраховувати на стимулювання позитивних тенденцій та на запобігання негативних тенденцій формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи. В табл. 1 подана нечітка підмножина, яка за змістом відповідає (1) та когнітивній моделі, яка авторами розглянута в [7].

Таблиця 1

Нечітка підмножина ядра нечіткого бінарного відношення факторів

P_{ij}	P_{11}								P_{12}				$\dot{P}_{13}$							$\dot{P}_{21}$				$\dot{P}_{22}$					$\dot{P}_{31}$					$\dot{P}_{32}$				$\dot{P}_{41}$			$\dot{P}_{42}$		
d_i	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}	d_{27}	d_{28}	d_{29}	d_{30}	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}	d_{35}	d_{36}	d_{37}	d_{38}	d_{39}	d_{40}	d_{41}	d_{42}	d_{43}
Фактори	P_1	P_2	P_3	P_4	q_1	q_2	q_3	q_4	r_1	r_2	r_3	r_4	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	t_1	t_2	t_3	t_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	ϑ_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	τ_1	τ_2	τ_3	φ_1	φ_2	φ_3
$\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}$	0,5	0,5	0,3	0,1	0,5	0,5	0,3	0,1	0,5	0,5	0,4	0,1	0,2	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,2	0,8	0,75	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,4

В таблиці приведені номер фактора за порядком у відповідності до множини $D=\{d_i\}$, $i=\overline{1,m}$, підмножини невпливових факторів P_{ij}, підмножини впливових факторів $\dot{P}_{ij}$ та значення функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів (значущості факторів).

Змістовність табл. 1 свідчить про те, що для опису функціонування складної системи ОПР ввела до розгляду множину факторів $D=\{d_i\}, i=\overline{1,43},$ а підмножина впливових факторів є

$$\dot{D}=\left\{\dot{P}_{13},\dot{P}_{21},\dot{P}_{22},\dot{P}_{31},\dot{P}_{32},\dot{P}_{41},\dot{P}_{42}\right\}=\left\{\dot{d}_k\right\}, k=\overline{1,31}.$$

Якщо ОПР для опису функціонування складної системи ввела множину $D=\{d_i\}, i=\overline{1,43},$ то тим самим вона як особа, яка приймає рішення, висловила свої судження , що кожний із факторів є суттєвим при її суб'єктивному баченні змістовності функціонування складної системи, тобто ОПР ввела до розгляду чітку множину $D=\{d_i\}, i=\overline{1,43},$ якій відповідає чітка множина впливових факторів $\dot{D}=\left\{\dot{d}_k\right\}, k=\overline{1,31},$ для якої $\mu_{M_{\dot{R}_{D\succ}}}=1, \forall k\in\dot{D}$. Але складна система функціонує в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі та когнітивна модель опису її функціонування базується на (1), тому можливість ОПР впливати на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом може бути реалізована на основі нечіткого опису процесу функціонування. Значення функції приналежності $\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}(d_i)$ в (1) є суб'єктивне судження експерта в тому, що $d_i\in D, i=\overline{1,m}.$ Чим ближче це значення до одиниці, тим більша впевненість ОПР в тому, що її вплив на фактор d_i буде суттєвим з точки зору впливу на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи. Це означає, що формуванню чіткої множини факторів, виходячи із повної множини факторів $D=\{d_i\}$, $i=\overline{1,m}$, які ОПР ввела для опису функціонування складної системи, для реалізації впливу ОПР на поведінку складної системи за часом, буде відповідати чисельна міра ризику такого рішення ОПР. Показник ризику ОПР при прийнятті рішення щодо формування чіткої множини факторів впливу пропонується розрахувати за виразом:

$$E\left(\tilde{R}_D\right)=\left\{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}[1-\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}(d_i)]^2\right\}^{1/2}, \qquad (2)$$

де $D=\{d_i\}$, $i=\overline{1,m}$ – множина факторів, яка введена ОПР для опису процесу функціонування складної системи; $\mu_{M_{\tilde{R}_D}}(d_i)$ – значення функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів $d_i\in D$.

Природна змістовність значення ризику розрахованого за (2) є чисельна міра нечіткості нечіткої підмножини (1). Показником ефективності прийняття рішення ОПР щодо чіткої множини факторів впливу є чисельна міра чіткості нечіткої множини (1), яка визначається за виразом виду

$$W(\tilde{R}_D)=1-E(\tilde{R}_D). \qquad (3)$$

Якщо нечітка підмножина (1) має зміст, який подано табл. 1, то значення показника ризику щодо формування чіткої множини впливових факторів, яка б включала всі $d_i\in D, i=\overline{1,m},$ розрахованого за (2), є 0,52, та, відповідно, показник ефективності такого рішення ОПР є 0,48. Для підмножини впливових факторів $D^{\bullet}=\left\{\dot{d}_k\right\}, k=\overline{1,31}$, що зазначено в табл. 1, тоді за (2) $E(\tilde{R}_{D^{\bullet}})=0,35$ та $W(\tilde{R}_{D^{\bullet}})=0,65$, бо $\mu_{M_{\tilde{R}_{D\succ}}}(d_i)=0,$ при $i=\overline{1,12}$.

Реалізація особистого впливу ОПР на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи на основі підмножини впливових факторів зменшує показник ризику при прийнятті ОПР такого рішення. Але підмножина впливових факторів може бути ще значного обсягу, що затрудняє для ОПР реалізацію її впливу. Можливість, при наявності (1), що складає основний зміст когнітивної моделі процесу функціонування складної системи, зменшення обсягу підмножини впливових факторів, що відповідає розумінню формування підмножини найбільш впливових факторів, полягає в наступному.

Введемо до розгляду прийнятий рівень значень функції приналежності, які відповідають підмножині впливових факторів, а саме $\alpha=\mu_{M_{\tilde{R}_{D^{\bullet}}\succ}}(d_i)$. Це означає, що для нечіткої підмножини ядра нечіткого

бінарного відношення строгої переваги на $D^{\bullet} = \left\{ d_k^{\bullet} \right\}, k = \overline{1,31}$ ввели до розгляду α-рівневі носії, які будуть складати чіткі підмножини найбільш впливових факторів $D^{\bullet}_{\alpha}$ при $\alpha \geq \alpha_{пр.}$, де $\alpha_{пр}$ – прийнятий рівень функції приналежності.

В табл. 2 приведена сутність чітких підмножин найбільш впливових факторів $D^{\bullet}_{\alpha}$, значення показників ризику та ефективності прийняття рішення ОПР щодо її реалізації впливу на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи.

Таблиця 2

Сутність чітких підмножин найбільш впливових факторів

α-рівень / Сутність $D^{\bullet}_{\alpha}$	$\alpha \geq \alpha_{пр.} = 0,7$	$\alpha \geq \alpha_{пр.} = 0,8$	$\alpha \geq \alpha_{пр.} = 0,9$
Чіткі підмножини найбільш впливових факторів	$D^{\bullet}_{\alpha} = \left\{ \overset{\bullet\bullet}{d}_k \right\}, k = \overline{1,17}$ $\{t_1, t_2, u_3, \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4, \vartheta_5, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \varphi_1, \varphi_2\}$	$D^{\bullet}_{k} = \left\{ \overset{\bullet\bullet}{d}_k \right\}, k = \overline{1,9}$ $\{t_1, \vartheta_1, \vartheta_4, \omega_1, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \varphi_1, \varphi_2\}$	$D^{\bullet}_{k} = \left\{ \overset{\bullet\bullet}{d}_k \right\}, k = \overline{1,4}$ $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \varphi_1\}$
$E(\tilde{R}_{D^{\bullet}_{\alpha}})$	0,24	0,16	0,1
$W(\tilde{R}_{D^{\bullet}_{\alpha}})$	0,76	0,84	0,9

Рекомендації ОПР щодо прийняття рішень, які визначені в табл. 2, відповідають змістовності нечіткої підмножини (1), яка відповідає стану функціонування складної системи на момент часу $t = \tau$. Якщо ОПР при описі процесу функціонування складної системи за часом приймає принцип, який полягає в тому, що множина факторів $D = \{d_i\}, i = \overline{1,m}$ за обсягом та за змістом не змінюються, то вона, при прийнятті рішення щодо впливу на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи, не може не враховувати принцип, який полягає в тому, що значущості впливових факторів за часом є мінливими. Тому прийняття рішення щодо змістовності підмножин найбільш впливових факторів, як за їх обсягом, так і за їх змістовністю, на деяку перспективу $t + \tau_1$, де τ_1 є прийнятий термін часу, який є обґрунтованим при $t = \tau$, не може задовольняти ОПР. Звичайно для ОПР завжди є рішення: настане час $t = t + \tau_1$ і тоді знову розглянути задачу та отримати рекомендації, які будуть відповідати часу $t + \tau_1$. Тоді виникає нова задача: яке значення τ_1 слід вважати прийнятим терміном часу. Тому, на наш погляд, доцільно розглянути наступну задачу: для прийнятого терміну часу τ_1 провести експертизу щодо оцінки таких інтервалів значень значущостей впливових факторів множини $D^{\bullet} = \left\{ d_k \right\}, k = \overline{1,m_1}$, дійсне значення значущостей кожного $d_k, k = \overline{1,m_1}$ за оцінкою ОПР, переконливо буде належати цим прогнозним значенням інтервалів. Рекомендації, змістовність яких відповідає змістовностям, поданим в табл. 2, можуть бути покладені в підготовку рішення ОПР: користуватись рекомендаціями на $t + \tau_1$, які відпрацьовані на момент часу $t = \tau$, чи необхідно повторити розв'язання задачі, коли настане момент часу функціонування складної системи $t = t + \tau_1$.

Для розв'язання зазначеної задачі проведена експертиза. Схема експертизи: експерти незалежні, зворотній зв'язок відсутній, кожний l-й експерт, $l = \overline{1,L}$, висловлює свою суб'єктивну думку відносно песимістичної та оптимістичної оцінок рівнів значущостей впливових факторів, а також їх підмножин за ієрархією, яка визначена когнітивною моделлю. Експерти володіють інформацією щодо змістовності нечіткої підмножини (1). Результати експертизи $l = \overline{1,L}$ експертів за кожним фактором $D^{\bullet}_{k} = \left\{ d_k \right\}, k = \overline{1,m_1}$ усереднюються та подаються нечітким числом $\tilde{A}$ на дійсній прямій, яке за означенням є нечітка підмножина з функцією приналежності $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \to [0,1]$. На рис. 1 подано нечітке число $\tilde{A}_{t_2}$ значущості фактора t_2, яке побудовано за песимістичною оцінкою $\mu^{(п)}_{M\tilde{R}_{D^{\bullet}}}(x) = 0,04$, оптимістичною оцінкою $\mu^{(оп)}_{M\tilde{R}_{D^{\bullet}}}(x) = 0,95$ та найбільш очікуваною оцінкою $\mu^{(н.о)}_{M\tilde{R}_{D^{\bullet}}}(x) = 0,75$, яка відповідає нечіткій підмножині (1). Прогнозований інтервал значущості фактора t_2 приймається з прийнятим рівнем переконливості ОПР щодо його обґрунтованості. Такому інтервалу буде відповідати α-рівнева чітка підмножина значень значущості фактора t_2. Так на рис. 1 показано, що при $\alpha = \mu_{M\tilde{R}_{D^{\bullet}}}(x) = 0,8$ значенню значущості фактора t_2 відповідає інтервал [0,6 – 0,8], границі якого при-

ймаються відповідно за песимістичну та оптимістичну оцінки значень значущості фактора t_2.

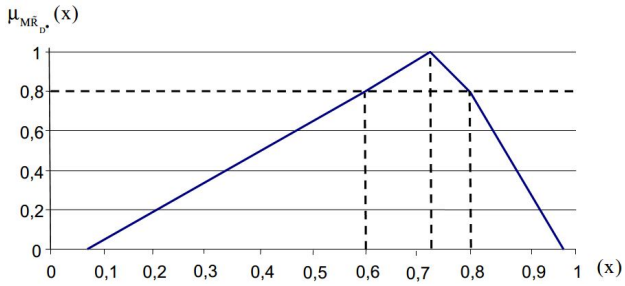

Рис. 1. Прогнозні значення значущості фактора t_2 нечітким числом $\tilde{A}_{t_2}$

В табл. 3 приведені прогнозовані α-рівневі значущості впливових факторів та їх підмножини $\{P_{13}, P_{21}, P_{22}, P_{31}, P_{32}, P_{41}, P_{42}\}$; $\{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ за ієрархічною декомпозицією факторів при α=0,8. В табл. 4 для множини факторів $D = \{d_i\}, i = \overline{1,43}$ приведено перелік впливових факторів за їх номером, їх змістовність та при α=0,8, з урахуванням функціональних впливів кожного впливового фактора на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом (дивись табл. 3), змістовність інтервалів значень значущостей факторів як, відповідно, песимістичну оцінку $\mu^{(п)}_{M\tilde{R}_{D^\bullet}}(d_k)$ та оптимістичну оцінку $\mu^{(оп)}_{M\tilde{R}_{D^\bullet}}(d_k)$.

Табл. 4 подані нечіткі підмножини впливових факторів за результатами експертизи щодо песимістичної та оптимістичної оцінки їх значущостей на час $t + \tau_1$, а саме:

$$\tilde{M}^{(п)}_{\tilde{R}\succ} = \bigcup_{k=1}^{k} \left\{ \mu^{(n)}_{M_{\tilde{R}_{D^\bullet}}}(d_k)/d_k \right\}; \quad (4)$$

$$\tilde{M}^{(оп)}_{\tilde{R}\succ} = \bigcup_{k=1}^{k} \left\{ \mu^{(оп)}_{M_{\tilde{R}_{D^\bullet}}}(d_k)/d_k \right\}. \quad (5)$$

Таблиця 3

Експертне прогнозування
α-рівневих значущостей впливових факторів та їх ієрархічних підмножин

s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	t_1	t_2	t_3	t_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	ϑ_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	τ_1	τ_2	τ_3	φ_1	φ_2	φ_3
0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,8	0,6	0,85	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,6	0,7	0,4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,75	0,4
0,5	0,7	0,8	0,85	0,8	0,85	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,5	0,8	0,8	0,6	0,5	0,8	0,8	0,4	0,5	0,7	0,6	0,65	0,85	0,8	0,85	0,6
$\bigcup P_{13}: \alpha = 0,8 \to 0,6 \div 0,75$							$\bigcup P_{21}: \alpha = 0,8 \to 0,5 \div 0,65$				$\bigcup P_{22}: \alpha = 0,8 \to 0,65 \div 0,75$					$\bigcup P_{31}: \alpha = 0,8 \to 0,55 \div 0,75$					$\bigcup P_{32}: \alpha = 0,8 \to 0,35 \div 0,45$				$\bigcup P_{41}: \alpha = 0,8 \to 0,65 \div 0,8$			$\bigcup P_{42}: \alpha = 0,8 \to 0,7 \div 0,8$		
$\bigcup P_1: \alpha = 0,8 \to 0,25 \div 0,35$							$\bigcup P_2: \alpha = 0,8 \to 0,35 \div 0,5$									$\bigcup P_3: \alpha = 0,8 \to 0,4 \div 0,55$									$\bigcup P_4: \alpha = 0,8 \to 0,3 \div 0,45$					

Таблиця 4

Експертне прогнозування значущості впливових факторів

Номер фактора впливу за порядком (dk)	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}	d_{19}	d_{20}	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}	d_{27}	d_{28}	d_{29}	d_{30}	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}	d_{35}	d_{36}	d_{37}	d_{38}	d_{39}	d_{40}	d_{41}	d_{42}	d_{43}
Зміст.фактора	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	t_1	t_2	t_3	t_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	ϑ_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	τ_1	τ_2	τ_3	φ_1	φ_2	φ_3
$\mu^{(п)}_{M\tilde{R}_{D^\bullet}}(d_k)$	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,8	0,6	0,85	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,65	0,65	0,7	0,65	0,65	0,65	0,7	0,4	0,4	0,4	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,7
$\mu^{(оп)}_{M\tilde{R}_{D^\bullet}}(d_k)$	0,75	0,75	0,8	0,85	0,8	0,85	0,75	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,75	0,8	0,8	0,75	0,75	0,8	0,8	0,55	0,55	0,7	0,8	0,8	0,85	0,8	0,85	0,8

Вище відзначалось, що сутність чітких підмножин найбільш впливових факторів відповідає змістовності чітких підмножин носіїв α-рівнів чіткої підмножини (1). В табл. 5 приведені чіткі підмножини найбільш впливових факторів, які відповідають підмножинам носіїв нечітких підмножин (4) та (5) при $\alpha \geq \alpha_{пр} = 0,7$, $\alpha \geq \alpha_{пр} = 0,8$, $\alpha \geq \alpha_{пр} = 0,9$. Для ОПР прийняте значення $\alpha_{пр}$ відповідає чисельній мірі її переконливості щодо доцільності та обґрунтованості прийняття рішення по змістовності чіткої підмножини найбільш впливових факторів. Ілюстративні розрахунки, які подані в табл. 5, свідчать про наступне. При рівні довіри $\alpha \geq 0,7$ ОПР до доцільності прийняття рішення щодо змістовності чіткої підмножини найбільше впливових факторів за результатами песимістичної та оптимістичної експертної оцінок видно, що показник ефективності прийняття рішення, який відповідає змістовності чіткої підмножини за результатами песимістичної оцінки, значно перевищив показник ефективності прийняття рішень щодо змістовності чіткої підмножини за результатами оптимистичної оцінки, а саме:

$$W(\tilde{R}^{(n)\bullet}_{D\alpha}) = 0,73 > W\left(\tilde{R}^{(jn)\bullet}_{D\alpha}\right) = 0,63;$$

$$E\left(\tilde{R}^{(n)\bullet}_{D\alpha}\right) = 0,27 < E\left(\tilde{R}^{(jn)\bullet}_{D\alpha}\right) = 0,37.$$

Відповідно обсяг підмножини найбільше впливових факторів, яка відповідає оптимістичній оцінці експертів, значно перевищує обсяг підмножини найбільше впливових факторів, яка відповідає песимістичній

Таблиця 5

Сутність чітких підмножин найбільш впливових факторів за результатами прогнозування

α-рівень / Сутність $D_\alpha^\bullet$	$\alpha \ge \alpha_{пр} = 0,7$	$\alpha \ge \alpha_{пр} = 0,8$	$\alpha \ge \alpha_{пр} = 0,9$
Чіткі підмножини найбільш впливових факторів за песимістичною оцінкою	$\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k^\bullet\}, k = \overline{1,14}$ $\{s_3, s_4, s_6, t_1, t_4, u_1, u_2, u_3, \vartheta_2, \omega_1, \tau_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\}$	$\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k^\bullet\}, k = \overline{1,4}$ $\{s_6, t_1, u_2, u_3\}$	$\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha$ - не існує
Чіткі підмножини найбільш впливових факторів за оптимістичною оцінкою	$\overset{(on)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k\}, k = \overline{1,29}$	$\overset{(on)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k\}, k = \overline{1,22}$	$\overset{(on)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k\}, k = \overline{1,4}$ $\{t_1, u_2, u_3, u_4\}$
Показники ефективності та ризику прийняття рішення ОПР за песимістичною оцінкою	$W(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}) = 0,73$ $E\left(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,27$	$W(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}) = 0,82$ $E\left(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,18$	
Показники ефективності та ризику прийняття рішення ОПР за оптимистичною оцінкою	$W\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,63$ $E\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,37$	$W\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,86$ $E\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,14$	$W\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) > 0,9$ $E\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) < 0,1$

оцінці експертів, що також не буде сприяти реалізації особистого впливу ОПР на формування власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом. Висловлене вище дає підстави ОПР її рішення формувати на перспективу $t + \tau$, виходячи із експертного песимістичного оцінювання. При рівні довіри $\alpha \ge 0,8$ ОПР також рекомендовано приймати рішення у відповідності до експертного песимістичного оцінювання на перспективу $t + \tau_1$, бо показники ефективності та ризику для підмножин найбільше впливових факторів, які відповідають песимістичному експертному оцінюванні, відрізняються від показників ефективності та ризику для підмножин найбільше впливових факторів, які відповідають оптимістичному експертному оцінюванню, не суттєво, а саме:

$$W(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}) = 0,82 < W\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,86;$$

$$E\left(\tilde{R}_{\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,18 > E\left(\tilde{R}_{\overset{(jn)\bullet}{D}_\alpha}\right) = 0,14.$$

Обсяг підмножини $\overset{(n)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k^\bullet\}, k = \overline{1,4}$ суттєво менший обсягу підмножини $\overset{(on)\bullet}{D}_\alpha = \{d_k\}, k = \overline{1,22}$, що також сприяє реалізації впливу ОПР.

При рівні $\alpha \ge 0,9$ ОПР може лише орієнтуватись на результати оптимістичного експертного оцінювання значущості факторів, бо при такому високому рівні довіри ОПР до обґрунтованості прийняття рішення песимістичне експертне оцінювання не дозволяє сформувати будь-яке рішення.

Щодо закінчення статті слід визначити наступне. Наукову проблему, яка зазначена вище та полягає у визначенні змістовності чітких підмножин впливових факторів та найбільше впливових факторів на основі експертного прогнозування песимістичних та оптимістичних оцінок значень значущостей факторів та визначення показників ефективності і ризику прийняття рішення ОПР, слід вважати вирішеною.

Висновки

Формування чітких підмножин впливових факторів та чітких підмножин найбільш впливових факторів може бути основане на експертному оцінюванні значень значущостей факторів. Значення значущостей факторів відповідає значенням функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів, які мають тлумачення недомінованості факторів на множині, яку ОПР вводить до розгляду при когнітивному моделюванні процесу функціонування складної системи. Чіткі підмножини найбільше впливових факторів відповідають чітким підмножинам носіїв α-рівні нечіткої підмножини факторів, яка визначає основу змістовності опису когнітивної моделі. Значущості факторів за часом слід вважати мінливими. Термін часу, на протязі якого ОПР може орієнтуватись на рішення, які отримані при розгляді стану функціонування складної системи на час t, може бути визначений по рівням показників ефективності та ризику формування чітких підмно-

жин найбільше впливових факторів при різних рівнях довіри ОПР до доцільності та обґрунтованості змістовності множин найбільше впливових факторів.

Список літератури

1. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах. Т.3. Эффективность технических систем / под. общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

2. Більчук В.М. Метод вибору раціональної за ефективністю стратегії управління в ході збройної боротьби в умовах її нечіткого інформаційного ресурсу / В.М. Більчук, Н.І. Литвинець, В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 9(67). – С. 2-10.

3. Бильчук В.М. Метод определения показателей эффективности и риска принятия решений при проведении операций в условиях нестохастической неопределенности / В.М. Бильчук, О.В. Десятов, И.С. Николаева // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2003. – Вип. 3. – С. 11-22.

4. Більчук В.М. Оцінка ефективності прийняття рішень щодо оперативного управління в умовах нестохастичної невизначеності інформаційного забезпечення / В.М. Більчук // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2005. – №2(2). – С. 39-46.

5. Більчук В.М. Методологічні основи засад розуміння нечіткого нестохастично невизначеного середовища та досліджень наявності в цьому явищ природи / В.М. Більчук, В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2008. – № 1(13). – С. 2-9.

6. Більчук В.М. Методологічні основи опису процесу функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин,О.В. Воробйов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 6(113). – С. 5-12.

7. Більчук В.М. Метод визначення напрямів сприяння формуванню цілеспрямованої власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин,О.В. Воробйов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 8(115). – С. 16-23.

8. Більчук В.М. Методика визначення рівнів значущості факторів формуючих нечітке нестохастичне невизначене середовище цілеспрямованого функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин, О.В. Воробйов, І.А. Нос // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4(120). – С. 106-112.

9. Більчук В.М. Метод визначення чіткої підмножини факторів впливу на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи / В.М.Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин, О.В. Воробйов, І.А.Нос // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 5(121). – С. 7-13.

Надійшла до редколегії 30.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО СОДЕРЖАТЕЛЬНОСТИ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ЧЕТКИХ ПОДМНОЖЕСТВ ВЛИЯТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

В.М. Бильчук, Д.А. Гриб, И.Г. Дзеверин, О.В. Воробьев, И.А. Нос

Сущность содержательности сложной системы определяется естественной направленностью значительного по объему перечня факторов, который вводится к рассмотрению лицом, принимающим решение (ЛПР), при описании процесса функционирования ее по времени. Сложная система владеет свойством формирования собственного поведения развития процесса ее функционирования по времени. Когнитивная модель процесса функционирования предусматривает экспертное определение значимостей факторов с учетом их многовлиятельности как значений функции принадлежности нечеткого подмножества ядра нечеткого бинарного отношения строгого предпочтения факторов, которые по определению составляют полное конечное множество. Переменные, которые соответствуют факторам, являются случайными немассового характера и является изменяющимися во времени. Когнитивная модель поэтому отвечает состоянию при $t=\tau$ функционирование сложной системы, а принятое значение α функции принадлежности нечеткого подмножества ядра нечеткого бинарного отношения строгого предпочтения выделяет, в момент времени $t=\tau$, четкое подмножество влияющих факторов, по пониманию ЛПР, на собственное поведение развития процесса функционирования сложной системы. Приводится оценка эффективности и риска принятия решения ЛПР относительно прогнозируемой содержательности четкого подмножества факторов при принятом α для реализации целенаправленного влияния относительно предотвращения негативных тенденций формирования собственного поведения развития процесса функционирования сложной системы.

Ключевые слова: *сложная система, нечеткое подмножество, подмножество влиятельных факторов, эффективность, риск, принятие решения.*

ESTIMATION OF EFFECTIVENESS AND DECISION-MAKING RISK CONCERNING THE CONTENT OF THE PREDICTABLE CLEAR SUBSETS OF INFLUENCE FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF COMPLEX SYSTEM FUNCTIONING

V.M. Bilchuk, D.A. Grib, I.G. Dzeverin, O.V. Vorobyev, I.A. Nos

The essence of complex system content is determined by the natural directivity of a large in amount list of factors, which is submitted for consideration by the decision-maker (DM), while describing its time functioning process. A complex system has a property of forming its own behavior of the process development of its time functioning. A cognitive model of functioning process provides expert determination of factors significance in accordance with their multi-consequence as membership function values of kernel fuzzy subset of fuzzy binary relation of factors strict preference, which form the entire finite set. Variables that correspond to factors are random and non-mass character and are changeable in time. That's why a cognitive model corresponds to the state when $t=\tau$ and a complex system is functioning, and the assumed α value of membership function of kernel fuzzy subset of fuzzy binary relation of strict preference selects, when $t=\tau$, a clear subset of influencing factors, as a decision-maker understands, on the own behavior of process development of complex system functioning. The estimation of the effectiveness and decision-making risk concerning the predictable content of a clear subset of factors with the accepted α for realization of purposeful influence to prevent negative tendencies of forming its own behavior of the process development of complex system functioning.

Keywords*: a complex system, a fuzzy subset, a subset of influence factors, efficiency, risk, decision-making.*