

РАЗРАБОТКА ИНВАРИАНТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВ

Яндыбаева Н. В.¹, Кушников В. А.², Резчиков А. Ф.³, Иващенко В. А.⁴

¹Балаковский филиал «Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Россия, г. Балаково, ул. Чапаева, д.107
nat07@inbox.ru,

²Саратовский научный центр РАН, Россия, г. Саратов, ул. Рабочая, д.24
kushnikoff@yandex.ru,

³Институт проблем управления им. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65
rezchikov1939@mail.ru, tsvirkun@ipu.ru,

⁴Институт проблем точной механики и управления РАН,
Россия, г. Саратов, ул. Рабочая, д.24
iptmuran@san.ru

Аннотация: Представлено описание разработанной на основе системно-динамического подхода математической модели для прогнозирования показателей национальной безопасности государств. Показана модификация модели для прогнозирования показателей национальной безопасности РФ, определенных в Указе Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537 «Стратегия национальной безопасности РФ до 2020 года».

Ключевые слова: математическая модель, системная динамика, показатели национальной безопасности, прогнозирование

Введение

С возникновением этих новых внешних и внутренних угроз национальной безопасности актуальной стала проблема разработки новых математических методов и моделей для оценки состояния и прогнозирования национальной безопасности государств. Созданию концепции устойчивого развития, способствующей укреплению национальной безопасности государств, посвящены работы ученых: К.Я. Кондратьева, В.М. Матросова, В.Г. Горшкова, В.К. Левашова, Н.Н. Моисеева, В.А. Коптюга [1], Г. Г. Малинецкого, С. Ю. Малкова, Alexander L. George, J.-В. Duroselle и др. Из стратегий национальной безопасности разных стран (ООН, БРИКС) были выбраны показатели (моделируемые переменные $X_i(t)$, $i = \overline{1,50}$), характерные для большинства государств: $X_1(t)$ – уровень безработицы (%); $X_2(t)$ – децильный коэффициент (%); $X_3(t)$ – уровень инфляции (%); $X_4(t)$ – уровень государственного внешнего долга (в % от ВВП); $X_5(t)$ – уровень государственного внутреннего долга (в % от ВВП); $X_6(t)$ – уровень обеспеченности ресурсами здравоохранения (в % от ВВП); $X_7(t)$ – уровень обеспеченности ресурсами культуры (в % от ВВП); $X_8(t)$ – уровень обеспеченности ресурсами образования и науки (в % от ВВП); $X_9(t)$ – численность военных кадров (чел.); $X_{10}(t)$ – численность инженерно-технических кадров (чел.); $X_{11}(t)$ – удовлетворенность граждан степенью защищенности своих конституционных прав и свобод, личных и имущественных интересов, в том числе от преступных посягательств (экспертная оценка); $X_{12}(t)$ – доля современных образцов вооружения в Вооруженных Силах страны и пр. Допустим, что все переменные рассматриваются в количественной шкале и при проведении расчетов используются их нормированные значения: $X_i^*(t) = X_i(t) / X_i^H$, $i = \overline{1,50}$, где $X_i(t)$ – текущее значение переменной, записанное в численной шкале, X_i^H – нормировочный коэффициент. В качестве нормировочного коэффициента могут выступать пороговые значения моделируемых переменных (Локосов В. В., Глазьев С. Ю. [2]) или значения переменных в определенный период времени (например, в 2000 г.).

Постановка задачи математического моделирования, таким образом, имеет вид: необходимо разработать инвариантную математическую модель для моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности государств.

Для разработки математической модели используется модель системной динамики [3]. Из решения системы нелинейных, неоднородных, разнотемповых, нестационарных дифференциальных уравнений получаем значения моделируемых переменных $X_i(t)$, $i = \overline{1,50}$ [4]. Для этого необходимо: определить внешние факторы, $VF_i(t)$, $i = \overline{1, w}$, влияющие на переменные $X_i(t)$, $i = \overline{1,50}$; задать граф H_{SSi} причинно-следственных связей между переменными $X_i(t)$, $i = \overline{1,50}$ и внешними факторами $VF_i(t)$,

$i = \overline{1, w}$; сформировать матрицу инцидентности графа H_{SSi} и записать уравнения системной динамики; задать функциональные зависимости $f_1(X_1), f_2(X_2) \dots f_k(X_k)$ в уравнениях [5].

На основе корреляционного анализа и анализа взаимосвязанных временных рядов были выбраны внешние факторы $VF_i(t), i = \overline{1, 68}$, воздействующие на моделируемые переменные $X_i(t) i = \overline{1, 50}$: $VF_1(t)$ – валовой внутренний продукт (руб.), далее после единицы измерения для каждого внешнего фактора для удобства расчетов приводится условное обозначение, например, для ВВП - $V(t)$; $VF_2(t)$ – уровень роста потребительских цен (%), $I(t)$; $VF_3(t)$ – численность экономически активного населения (чел.), $D(t)$; $VF_4(t)$ – налоги (руб.), $T(t)$; $VF_5(t)$ – предложение трудовых ресурсов (чел.), $W(t)$; $VF_6(t)$ – численность населения (чел.), $P(t)$; $VF_7(t)$ – среднедушевой доход населения (руб.), $Pm(t)$; $VF_8(t)$ – фонд рабочего времени (чел.-дн.), $F(t)$; $VF_9(t)$ – численность безработных (чел.), $Ub(t)$; $VF_{10}(t)$ – объем миграции, $M(t)$; $VF_{11}(t)$ – средняя заработная плата (руб.), $E(t)$; $VF_{12}(t)$ – среднедушевые доходы населения (руб.), $Sc(t)$ и др. В расчетах применяются нормированные значения внешних факторов: $VF_i^*(t) = VF_i(t) / VF_i^n, i = \overline{1, 68}$; где $VF_i(t)$ – текущее значение переменной в численной шкале, VF_i^n – нормировочный коэффициент [7]. При разработке математической модели для расчета показателей национальной безопасности для конкретной страны в дифференциальные уравнения вводятся структурные бинарные коэффициенты $k_i, i = \overline{1, 50}$:

$$k_i = \begin{cases} 1, & \text{если } X_i \text{ имеется в стратегии данной страны;} \\ 0, & \text{если } X_i \text{ отсутствует в стратегии данной страны;} \end{cases}$$

Граф H_{SSi} причинно-следственных взаимосвязей между моделируемыми переменными $X_i(t) i = \overline{1, 50}$ и внешними факторами $VF_i(t), i = \overline{1, 68}$, формируется с использованием системно-динамического подхода и теории причинно-следственных комплексов. В силу сложности и большого размера данного графа для исследования произведем декомпозицию графа на подграфы $H_{Si}, i = \overline{1, 50}$, на основе которых формируются нелинейные, неоднородные, разнотемповые, нестационарные дифференциальные уравнения. Матрица инцидентности графа H_{SSi} является матрицей $A(X_i(t) + VF_i(t) \times |E|)$ размером 50×65 по числу переменных $X_i(t) i = \overline{1, 50}$ и внешних факторов $VF_i(t), i = \overline{1, 68}$. Значения элементов матрицы определяются: $\forall i \leq 118, \forall j \leq 118; a_{ij} = +1$, если рост значения переменной $X_i(t) i = \overline{1, 50}$ или внешнего фактора $VF_i(t), i = \overline{1, 68}$ способствует увеличению переменной $X_j(t) i = \overline{1, 50}$ или внешнего фактора $VF_j(t), i = \overline{1, 68}$. $\forall i \leq 118, \forall j \leq 118; a_{ij} = -1$, если рост значения переменной $X_i(t) i = \overline{1, 50}$ или внешнего фактора $VF_i(t), i = \overline{1, 68}$ способствует уменьшению переменной $X_j(t) i = \overline{1, 50}$ или внешнего фактора $VF_j(t), i = \overline{1, 68}$.

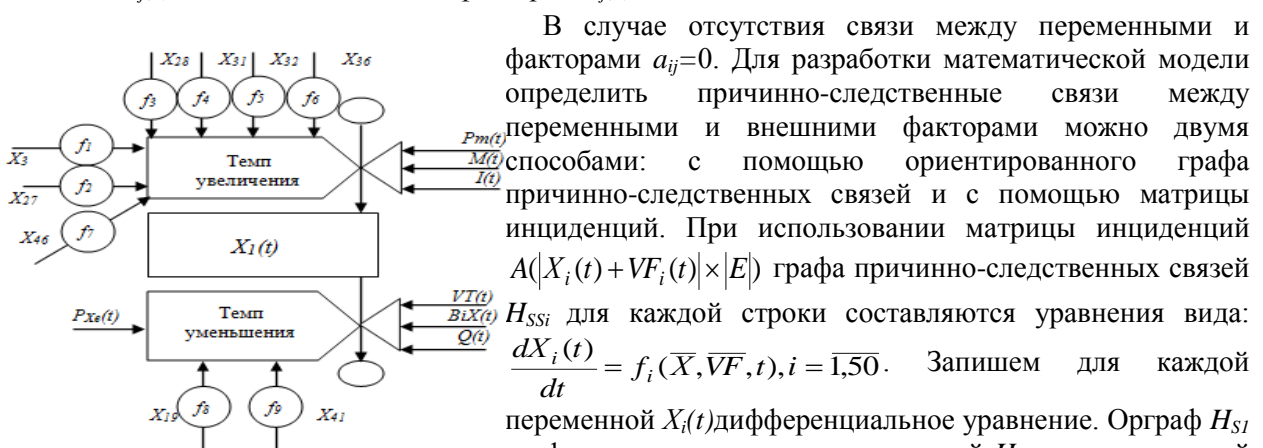


Рис. 1. Орграф для переменной $X_1(t)$

В случае отсутствия связи между переменными и факторами $a_{ij} = 0$. Для разработки математической модели определить причинно-следственные связи между переменными и внешними факторами можно двумя способами: с помощью ориентированного графа причинно-следственных связей и с помощью матрицы инцидентности. При использовании матрицы инцидентности $A(X_i(t) + VF_i(t) \times |E|)$ графа причинно-следственных связей H_{SSi} для каждой строки составляются уравнения вида: $\frac{dX_i(t)}{dt} = f_i(\bar{X}, \bar{VF}, t), i = \overline{1, 50}$. Запишем для каждой переменной $X_i(t)$ дифференциальное уравнение. Орграф H_{Si} графа причинно-следственных связей H_{SSi} для переменной $X_1(t)$ приведен на рис. 1.

Первая строка матрицы $A(X_i(t) + VF_i(t) \times |E|)$ графа причинно-следственных связей H_{SSi} ,

определяющая первое дифференциальное уравнение математической модели приведена в табл. 1.

Значения элементов матрицы определены в соответствии с мнением экспертов о релевантности причинно-следственных связей, характерных для моделируемой переменной. Для переменной $X_1(t)$:

$$(1) \frac{dX_1(t)}{dt} = \frac{1}{X_1^*} \cdot k_1 \cdot ((I(t) + Pm(t) + M(t)) \cdot f_1(X_3) \cdot f_2(X_{27}) \cdot f_3(X_{28}) \cdot f_4(X_{31}) \cdot f_5(X_{32}) \cdot f_6(X_{36}) \cdot f_7(X_{46}) - (Bis(t) + VT(t) + P_{se}(t) + Q(t)) \cdot f_8(X_{19}) \cdot f_9(X_{41}));$$

Таблица 1. Строка матрицы графа H_{si} , характеризующая причинно-следственные связи в X_1

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
X ₁	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₁₆	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	X ₂₉
X ₁	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	X ₃₀	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆	X ₃₇	X ₃₈	X ₃₉	X ₄₀	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄
X ₁	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0
	X ₄₅	X ₄₆	X ₃₀	X ₄₇	X ₄₈	X ₄₉	X ₅₀	V	I	D	T	W	P	Pm	F
X ₁	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	M	E	Sc	Bis	Z	Ex	Im	Sh	VT	Bd	Bg	In	H	Mn	Tch
X ₁	1	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
	Sr	Ai	Fs	SO	Fn	K	Me	Q	Pr	Scl	Fin	De	Pl	P _{se}	Sh _{pr}
X ₁	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
	PZ	VZ	Ze	SN	UR	ShP	VP	FA	DA	FN	NT	ES	UV	HS	Ug
X ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZW	PS	PR	CR	KR	S	IR	ZB	ShB	SB	ZO	-	-	-	-
X ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-

Разработанная модель для прогнозирования национальной безопасности имеет вид:

$$(2) \left\{ \begin{aligned} \frac{dX_1(t)}{dt} &= \frac{1}{X_1^*} \cdot k_1 \cdot (I(t) + Pm(t) + M(t)) \cdot f_1(X_3) \cdot f_2(X_{27}) \cdot f_3(X_{28}) \cdot f_4(X_{31}) \cdot f_5(X_{32}) \cdot f_6(X_{36}) \cdot f_7(X_{46}) - \\ &- (Bis(t) + VT(t) + P_{se}(t) + Q(t)) \cdot f_8(X_{19}) \cdot f_9(X_{41}); \\ \frac{dX_2(t)}{dt} &= \frac{1}{X_2^*} \cdot k_2 \cdot (Sc(t) + SB(t) + KR(t) + M(t)) \cdot f_{10}(X_{19}) \cdot f_{11}(X_{28}) \cdot f_{12}(X_{49}) - (I(t) + U(t)) \cdot f_{13}(X_1) \cdot f_{14}(X_3); \\ \frac{dX_3(t)}{dt} &= \frac{1}{X_3^*} \cdot k_3 \cdot (M(t) + Bd(t) + De(t) + U(t)) \cdot f_{15}(X_{19}) \cdot f_{16}(X_{28}) \cdot f_{17}(X_{49}) - \\ &- (T(t) + Bis(t) + Bg(t) + Ex(t) + Im(t)) \cdot f_{18}(X_4) \cdot f_{19}(X_5); \\ \frac{dX_4(t)}{dt} &= \frac{1}{X_4^*} \cdot k_4 \cdot (Bd(t) + V(t) + M(t) + I(t) + U(t) + Ex(t) + Im(t)) \cdot f_{20}(X_{19}) \cdot f_{21}(X_{30}) \cdot f_{22}(X_{31}) \cdot f_{23}(X_{32}) \times \\ &\times f_{24}(X_{33}) \cdot f_{25}(X_{44}) \cdot f_{26}(X_{46}) - (Bg(t) + In(t) + T(t) + Bis(t)) \cdot f_{27}(X_1) \cdot f_{28}(X_3); \\ &\vdots \\ \frac{dX_{47}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{47}^*} \cdot k_{47} \cdot (ZO(t) + VZ(t) + Sr(t)) \cdot f_{306}(X_{29}) \cdot f_{307}(X_{36}) - (Ze(t) + V(t) + T(t)) \cdot f_{308}(X_{15}); \\ \frac{dX_{48}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{48}^*} \cdot k_{48} \cdot (I(t) + U(t) + M(t) + Bd(t) + Sh_{pr}(t) + PS(t) + PR(t) + CR(t) + KP(t)) \cdot f_{309}(X_1) \cdot f_{310}(X_3) \cdot f_{311}(X_{16}) \cdot f_{312}(X_{18}) \cdot \\ &\times f_{313}(X_{19}) \cdot f_{314}(X_{20}) \cdot f_{315}(X_{28}) \cdot f_{316}(X_{38}) \cdot f_{317}(X_{40}) - (Pl(t) + P_{se}(t) + ShP(t) + Ug(t)) \cdot f_{318}(X_{11}) \cdot f_{319}(X_{14}); \\ \frac{dX_{49}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{49}^*} \cdot k_{49} \cdot (IR(t) + VZ(t) + V(t)) \cdot f_{320}(X_{23}) \cdot f_{321}(X_{36}) - (Fs(t) + Ze(t)) \cdot f_{322}(X_8); \\ \frac{dX_{50}(t)}{dt} &= \frac{1}{X_{50}^*} \cdot k_{50} \cdot (Sh_{pr}(t) + SB(t) + PS(t) + PR(t) + CR(t)) \cdot f_{323}(X_{16}) \cdot f_{324}(X_{26}) \cdot f_{325}(X_{31}) \cdot f_{326}(X_{32}) \cdot f_{327}(X_{33}) \times \\ &\times f_{328}(X_{37}) \cdot f_{329}(X_{40}) - (ZO(t) + ShP(t) + Ug(t)) \cdot f_{340}(X_{29}) \cdot f_{341}(X_{30}); \end{aligned} \right.$$

При введении в разработанную модель (2) бинарных значений структурных коэффициентов k_i формируется математическая модель для определения прогнозных значений национальной безопасности любой страны.

Литература

1. Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К. и др. Подходы к разработке национальной стратегии устойчивого развития России. – М.: Изд-во «Академия», 2001. – 409 с.
2. Глазьев С.Ю. Белая книга. Экономические реформы в России 1991-2001гг. / С.Ю. Глазьев, С.Г. Кара-Мурза, В.А. Батчиков. М.: Изд-во «Эксмо», 2004. - 384 с.
3. Бродский Ю. И. Лекции по математическому и имитационному моделированию. - М.: -Берлин: Директ-Медиа, 2015.-240 с.

4. Яндыбаева Н. В. Математическая модель и алгоритм для прогнозирования показателей национальной безопасности РФ // Естественные и технические науки. 2018. №3(117). с.141-144.
5. Резчиков А. Ф., Яндыбаева Н. В., Кушиников В. А., Иващенко В. А., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Информационно-советующая система для моделирования и прогнозирования динамики показателей национальной безопасности на основе причинно-следственных комплексов и уравнений Форрестера // Информационные технологии. -2018.-№1. том 24.-с.33-40.