

А. Ф. Резчиков, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., e-mail: rezchikov1939@mail.ru, ФГБУН "Институт проблем точной механики и управления РАН", г. Саратов, 410028,

Н. В. Яндыбаева, канд. техн. наук, e-mail: nat07@inbox.ru,

Балаковский филиал ФГБОУ ВО "Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации", г. Балаково,

В. А. Кушников, д-р. техн. наук, проф., e-mail: kushnikoff@yandex.ru,

В. А. Иващенко, д-р. техн. наук, проф., e-mail: iptmuran@san.ru,

А. С. Богомолов, канд. физ.-мат. наук, доцент, e-mail: alexbogomolov@yandex.ru,

Л. Ю. Филимонюк, канд. техн. наук, e-mail: filimonyukleonid@mail.ru, ФГБУН "Институт проблем точной механики и управления РАН", г. Саратов, 410028

Информационно-советующая система для моделирования и прогнозирования динамики показателей национальной безопасности на основе причинно-следственных комплексов и уравнений Форрестера

Разработано математическое обеспечение для информационно-советующей системы, предназначенной для осуществления имитационного моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ. Математической основой системы является комплекс моделей, построенных с использованием аппарата системной динамики, теории причинно-следственных комплексов и регрессионного анализа. Представлен алгоритм расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности с использованием разработанного специализированного программного обеспечения.

Ключевые слова: национальная безопасность, системная динамика, дифференциальные уравнения, объектно-ориентированное программирование

Введение

Актуальными сегодня являются исследования в области проблем перехода страны к устойчивому развитию. Концепция устойчивого развития является на сегодняшний день самой распространенной "всемирной моделью будущего цивилизации", которая предполагает повышение качества жизни граждан без ущерба (экономического, социального, экологического) для будущих поколений. Исследованиями в области перехода страны к устойчивому развитию с использованием моделей и методов мировой динамики занимались Малинецкий Г. Г., Акаев А. А., Коротчаев А. В., Малков С. Ю., Подлазов А. В., Садовничий В. А. и др. [1, 2]. В целях обеспечения устойчивого и безопасного развития страны 31 декабря 2015 г. Президентом РФ был подписан Указ № 682 "О стратегии национальной безопасности Российской Федерации" [3]. Стратегия национальной безопасности России содержит приоритеты в области внутренней и внешней политики по обеспечению национальной безопасности РФ, а также оценку текущего состояния национальной безопасности РФ на долгосрочный период. В Стратегии приводятся основные показатели национальной безопасности.

Постановка задачи исследования имеет следующий вид: необходимо разработать математические модели и алгоритмы, а также программное обеспечение для имитационного моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ.

1. Описание комплекса математических моделей

Для решения поставленной задачи авторами был разработан комплекс моделей, состоящий из модели системной динамики и регрессионных моделей [4–7].

В качестве моделируемых переменных в разработанной на основе системной динамики математической модели приняты показатели национальной безопасности: $X_1(t)$ — удовлетворенность граждан степенью защищенности своих конституционных прав и свобод; $X_2(t)$ — доля современных образцов вооружения, военной и специальной техники в Вооруженных Силах РФ; $X_3(t)$ — ожидаемая продолжительность жизни; $X_4(t)$ — валовой внутренний продукт на душу населения; $X_5(t)$ — децильный коэффициент; $X_6(t)$ — уровень инфляции; $X_7(t)$ — уровень безработицы; $X_8(t)$ — доля расходов в валовом внутреннем про-

дукте на развитие науки, технологий и образования; $X_9(t)$ — доля расходов в валовом внутреннем продукте на культуру; $X_{10}(t)$ — доля территории Российской Федерации, не соответствующая экологическим нормативам. Данный набор переменных не обладает полнотой характеристик изучаемой системы и моделирует некоторую проекцию всей системы на выбранное подпространство его характеристик.

Связи между моделируемыми переменными X_1 — X_{10} представлены с помощью орграфа, разработанного на основе формального аппарата причинно-следственных комплексов (рис. 1).

Представим производные моделируемых переменных X_1 — X_{10} как функции данных переменных. Производные уровней по времени $\frac{dX_i(t)}{dt}$, $i = 1, \dots, n$, модельный смысл которых — скорости изменения уровней в единицу времени, называются потоками. Тогда связи между потоками и моделируемыми переменными (уровнями) можно записать в виде систем дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = F_i(X_1(t), \dots, X_n(t)), i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Особенностью подхода Дж. Форрестера в системной динамике являются упрощение и декомпозиция системы [8]. Представим функции

F_i в виде разложений в ряд по степеням $X_k(t)$, но рассмотрим только первые, линейные члены разложения. Коэффициенты при членах разложения определяются экспериментально. Система в этом случае имеет вид:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \alpha_{i,0} + \alpha_{i,1}X_1(t) + \dots + \alpha_{i,n}X_n(t), \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n.$$

Произведения $\alpha_{i,k}X_k(t)$, $i = 1, \dots, n$, — это темпы i -го потока, t — время.

В силу сложности анализируемой системы вводится нелинейность — пусть темпы зависят от уровней:

$$\alpha_{i,k} = \alpha_{i,k}(X_1(t), \dots, X_n(t)), k = 1, \dots, n.$$

Данная зависимость имеет мультипликативный вид:

$$\alpha_{i,k}(X_1(t), \dots, X_n(t)) = \alpha_{i,k} f_{i,k,1}(X_1(t)) \dots f_{i,k,n}(X_n(t)), \quad (3)$$

$$k = 1, \dots, n.$$

Здесь $\alpha_{i,k}$ — константы из уравнения (2), каждый из множителей $f_{i,k,l}$, $l = 1, \dots, n$, зависит только от одного аргумента — "своего" уровня $X_l(t)$, при этом "базовым" значением множителей $f_{i,k,l}$

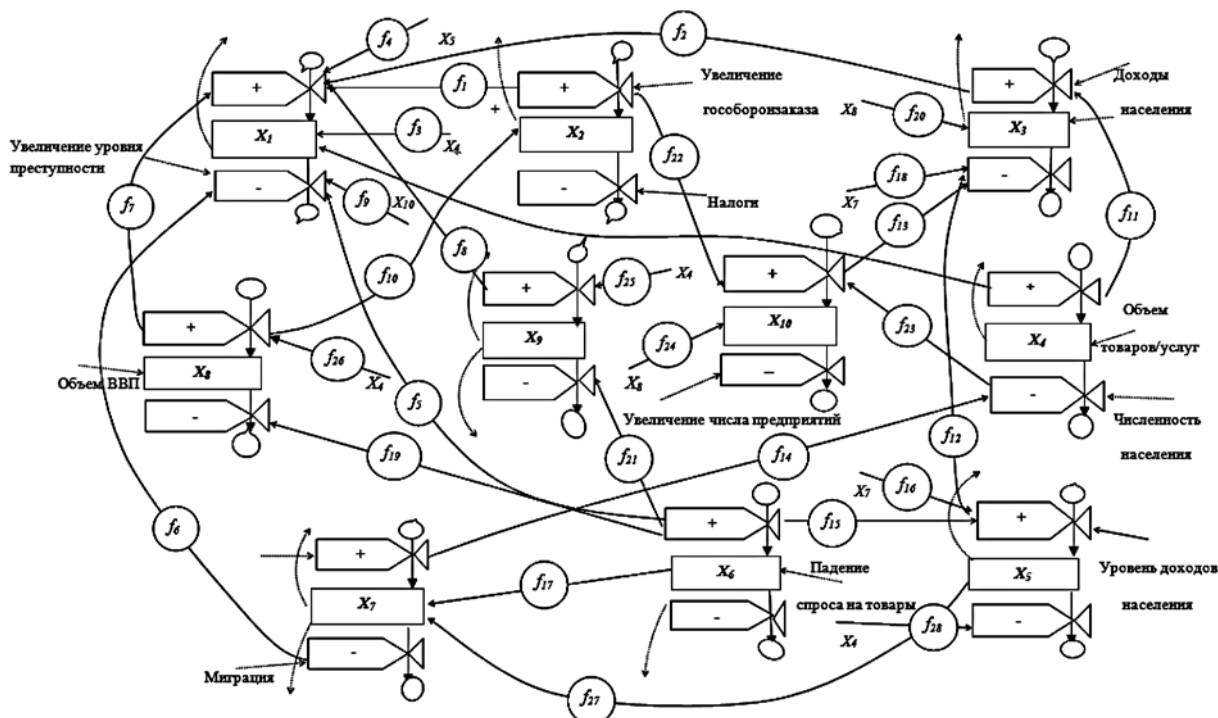


Рис. 1. Орграф причинно-следственных связей между моделируемыми переменными X_1 — X_{10}

считается 1, от которого под действием аргументов они могут отклоняться в ту или иную сторону. Окончательно модель имеет вид:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \alpha_{i,0} + \sum_{k=1}^n \alpha_{i,k} \prod_{l=1}^n f_{i,k,l}(X_l(t)), X_k(t), \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, n.$$

Система уравнений (4) дает декомпозицию исходной системы общего вида (1) [9].

Разработанная математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих состояние анализируемой системы:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dX_1(t)}{dt} &= (P(t) + P_{se}(t))f_1(X_2)f_2(X_3)f_3(X_4)f_7(X_8) \times \\ &\times f_8(X_9) - Sh_{pr}(t)f_9(X_{10})f_4(X_5)f_5(X_6)f_6(X_7); \\ \frac{dX_2(t)}{dt} &= (V(t) + SO(t))f_{10}(X_8) - I(t); \\ \frac{dX_3(t)}{dt} &= (E(t) + Zd(t) + X_8(t))f_{11}(X_4)f_{20}(X_8) - \\ &- (BN(t) + I(t) + U(t))f_{12}(X_5)f_{13}(X_{10})f_{18}(X_7); \\ \frac{dX_4(t)}{dt} &= \left(\frac{V(t)}{P(t)} + D(t) \right) - (I(t) + U(t))f_{14}(X_7); \\ \frac{dX_5(t)}{dt} &= (P(t) + Sc(t) + U(t))f_{16}(X_7) - I(t)f_{15}(X_6); \\ \frac{dX_6(t)}{dt} &= (De(t) + D(t) + E(t)) - (V(t) + W(t)); \\ \frac{dX_7(t)}{dt} &= (I(t) + Sc(t) + D(t))f_{15}(X_6) - \\ &- (W(t) + T(t) + V(t))f_{27}(X_5); \\ \frac{dX_8(t)}{dt} &= (V(t) + H(t) + Tch(t) + Sr(t))f_{26}(X_4) - \\ &- (I(t) + D(t) + M(t) + P(t) + Sc(t))f_{19}(X_6); \\ \frac{dX_9(t)}{dt} &= (V(t) + D(t) + Sc(t))f_{25}(X_4) - \\ &- (T(t) + P(t))f_{21}(X_6); \\ \frac{dX_{10}(t)}{dt} &= (PZ(t) + VZ(t))f_{22}(X_2) - \\ &- Ze(t)f_{23}(X_4)f_{24}(X_8). \end{aligned} \right. \quad (5)$$

В уравнениях (5) приняты следующие обозначения: $X_1(t) \dots X_{10}(t)$ — текущие уровни значений моделируемых переменных $X_1 \dots X_{10}$; $P(t)$ — степень реализованности личных прав граждан (права на жизнь, права на свободу и личную неприкосновенность, права на свободу мысли и слова, права на свободу от вмешательства в личную жизнь); $P_{se}(t)$ — степень реализованности социально-экономических прав (права на жилище, права на защиту прав и свобод, права на охрану здоровья, права на труд, отдых, социальное обеспечение,

права избирать и быть избранным, права частной собственности и свободы предпринимательства, права на участие в общественной, политической жизни); $Sh_{pr}(t)$ — число зарегистрированных преступлений; $P(t)$ — численность населения; $SO(t)$ — объем гособоронзаказа; $E(t)$ — средняя заработная плата; $Zd(t)$ — доля расходов ВВП на здравоохранение; $BN(t)$ — заболеваемость населения; $U(t)$ — уровень безработицы; $De(t)$ — денежная эмиссия; $I(t)$ — инфляция; $Sc(t)$ — доходы населения; $V(t)$ — валовой внутренний продукт страны; $D(t)$ — демографические факторы (численность экономически активного населения); $W(t)$ — предложение труда; $T(t)$ — налоги; $H(t)$ — число учебных заведений; $Tch(t)$ — численность профессорско-преподавательского состава с учеными степенями и званиями; $Sr(t)$ — среднегодовой объем финансирования научных исследований; $M(t)$ — миграция; $PZ(t)$ — число промышленных предприятий; $VZ(t)$ — объем выбросов загрязняющих веществ в воду, почву, воздух; $Ze(t)$ — затраты на охрану окружающей среды [10–12].

Рассмотрим процедуру построения дифференциального уравнения, описывающего изменения переменной $X_4(t)$ — валового внутреннего продукта на душу населения:

$$\frac{dX_4(t)}{dt} = X_4(t) \left(\left(\frac{V(t)/P(t) + D(t)}{X_4(t)} \right) - \left(\frac{I(t) + U(t)}{X_4(t)} \right) f_{14}(X_7) \right) - (I(t) + U(t))f_{14}(X_7). \quad (6)$$

Здесь $X_4(t)$ — текущий уровень валового внутреннего продукта на душу населения; $V(t)$ — валовой внутренний продукт; $P(t)$ — численность населения; $D(t)$ — численность экономически активного населения; $I(t)$ — инфляция; $U(t)$ — безработица. На рис. 2 приведен подграф моделируемой переменной X_4 .

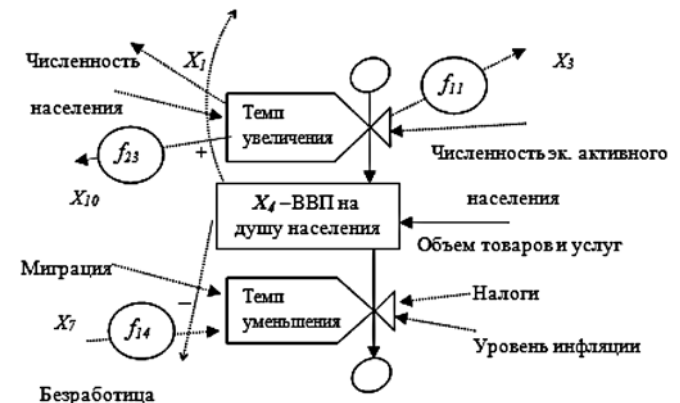


Рис. 2. Подграф переменной X_4

Величина $f_{14}(X_7)$ — функциональная зависимость валового внутреннего продукта на душу населения от уровня безработицы, используемая в уравнении (6), задается экспертами и служит для учета взаимовлияния моделируемых переменных.

В некоторых случаях описания X_4 с помощью системы уравнений (5) недостаточно ввиду невысокой точности вычислений, поэтому детализируем X_4 , описав все функции, входящие в данную переменную. Для этого выполним декомпозицию моделируемой переменной X_4 — запишем переменные, входящие в X_4 в виде следующих дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dV(t)}{dt} = (Ex(t) + Im(t) + OP(t) + T(t))f_2(X_3^4)f_1(X_2^4) - (I(t) + U(t))f_3(X_5^4)f_4(X_6^4); \\ \frac{dP(t)}{dt} = R(t) - (S(t) + M(t))f_5(X_3^4); \\ \frac{dD(t)}{dt} = (P(t) + F(t)) - (VT(t) + U(t)); \\ \frac{dU(t)}{dt} = (M(t) + D(t) + Sc(t) + I(t))f_6(X_3^4)f_7(X_6^4) - (W(t) + T(t) + V(t)); \\ \frac{dI(t)}{dt} = (De(t) + SD(t)) - U(t). \end{cases} \quad (7)$$

Дифференциальные уравнения построены на основе орграфа моделируемой переменной, приведенного на рис. 3.

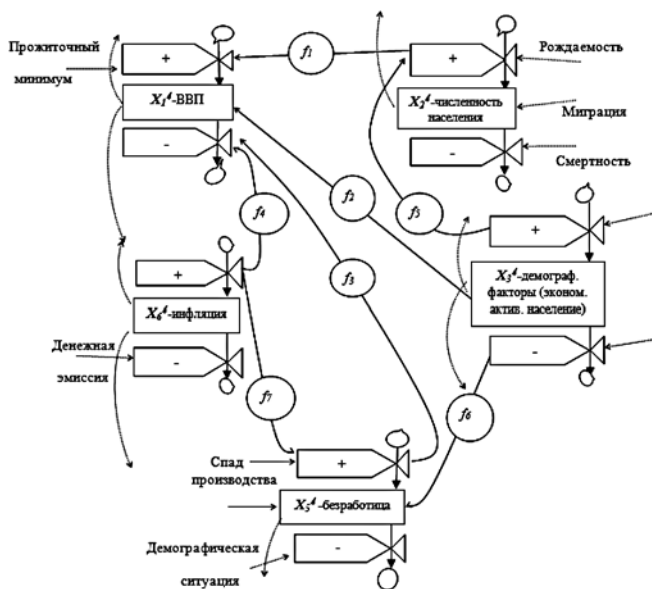


Рис. 3. Орграф моделируемой переменной X_4

В уравнении (7) приняты следующие обозначения: $Ex(t)$ — экспорт; $Im(t)$ — импорт; $T(t)$ — налоги; $OP(t)$ — объем производства товаров и услуг; $R(t)$ — рождаемость; $S(t)$ — смертность; $M(t)$ — миграция; $F(t)$ — фонд рабочего времени, $VT(t)$ — спрос на труд; $SD(t)$ — государственный долг; $Sc(t)$ — доходы населения; $W(t)$ — предложение труда; $De(t)$ — денежная эмиссия.

Для моделируемой переменной X_4 — ВВП на душу населения — рассчитаем значения показателей $V(t)$, $P(t)$, $D(t)$, $U(t)$, $I(t)$ за 2016 г. по разработанной модели (7) и сравним с расчетными значениями по регрессионной модели и ретроспективными (фактическими) значениями показателей за тот же период. Так как рассматриваемые переменные имеют разные размерность и числовой масштаб, то при составлении зависимостей и систем уравнений каждое их значение указывается в отношении к аналогичному значению базового 2000 г. По разработанной модели на основе системной динамики имеем

$$\begin{aligned} \frac{dV(t)}{dt} &= (Ex(t) + Im(t) + OP(t) + \\ &+ T(t))f_2(X_3^4)f_1(X_2^4) - (I(t) + U(t))f_3(X_5^4)f_4(X_6^4) = \\ &= (8,04 + 10,03 + 12,7 + 7,32) \cdot 0,8 \cdot 0,4 - \\ &- (0,64 + 0,53) \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 11,7. \end{aligned}$$

Значения остальных показателей $P(t)$, $D(t)$, $U(t)$, $I(t)$ в модели (7) вычисляются аналогично. В модели (7) используются следующие функциональные зависимости, вид которых определяется с помощью регрессионного анализа:

$$\begin{aligned} f_1(X_1^4) &= -1,4(X_1^4)^3 + 2,2(X_1^4)^2 - 0,005(X_1^4) + 0,07; \\ f_2(X_3^4) &= -0,62(X_3^4)^3 + 1,1(X_3^4)^2 + 0,64(X_3^4) - 0,088; \\ f_3(X_5^4) &= 2,1(X_5^4)^3 + 3,7(X_5^4)^2 - 2,8(X_5^4) + 1,3; \\ f_4(X_6^4) &= 1,6(X_6^4)^3 - 2,4(X_6^4)^2 + 0,004(X_6^4) + 0,96; \\ f_5(X_3^4) &= 1(X_3^4)^3 - 2,1(X_3^4)^2 + 1,5(X_3^4) - 0,14; \\ f_6(X_3^4) &= -0,1(X_3^4)^3 + 0,47(X_3^4)^2 + 0,5(X_3^4) + 0,03; \\ f_7(X_6^4) &= 1(X_6^4)^3 - 2,3(X_6^4)^2 + 2,6(X_6^4) - 0,37. \end{aligned}$$

Аналогично записываются дифференциальные уравнения для моделируемых переменных X_1 – X_3 и X_5 – X_{10} . Проверка адекватности разработанной математической модели (7) осуществляется с помощью уравнений регрессии, построенных по статистическим данным за 2000–2015 гг. [13]:

$$\begin{aligned} V(t) &= -0,0001t^4 + 0,0028t^3 + 0,0158t^2 + \\ &+ 0,2008t + 0,7244; \end{aligned}$$

Проверка адекватности разработанных моделей (7) и (8)

| Моделируемые переменные | Фактические значения переменных | | Прогнозные значения переменных | | | |
|---|---------------------------------|---------|-------------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| | | | вычисленные по регрессионной модели | | вычисленные по модели системной динамики | |
| | 2015 г. | 2016 г. | 2016 г. | Абсолют. погреш., % | 2016 г. | Абсолют. погреш., % |
| $V(t)$ — ВВП | 11,4 | 11,78 | 12,7 | 7,8 | 11,7 | 0,7 |
| $P(t)$ — численность населения | 0,998 | 1,0 | 0,999 | 1 | 1,01 | 1 |
| $D(t)$ — численность эк. актив. населения | 1,03 | 1,05 | 1,06 | 0,9 | 1,03 | 1,9 |
| $U(t)$ — уровень безработицы | 0,53 | 0,51 | 0,535 | 4,9 | 0,53 | 3,9 |
| $I(t)$ — уровень инфляции | 0,64 | 0,27 | 0,29 | 7,4 | 0,28 | 3,7 |

$$\begin{aligned}
 P(t) &= -0,00002t^3 + 0,001t^2 - 0,0114t + 1,0096; \\
 D(t) &= -0,00002t^4 - 0,0008t^3 + 0,0099t^2 - \\
 &\quad - 0,0367t + 1,0259; \\
 I(t) &= 0,0001t^4 - 0,0048t^3 + 0,0628t^2 - \\
 &\quad - 0,3648t + 1,3706; \\
 U(t) &= -0,0000005t^4 - 0,0029t^3 + 0,0394t^2 - \\
 &\quad - 0,2298t + 1,1873.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

В таблице приведены прогнозные значения моделируемых переменных, вычисленных по модели системной динамики (7), регрессионной модели (8) и проведено сравнение с фактическими значениями, а также рассчитана абсолютная погрешность.

Абсолютная погрешность вычисленных по разным моделям значений моделируемых переменных при сравнении с фактическими за 2016 год не превышают 8 %, что говорит об адекватности разработанного комплекса моделей.

2. Алгоритмы и программное решение для расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности

Для расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности разработан следующий алгоритм.

1. Осуществляется выбор моделируемой переменной $X_1...X_{10}$.
2. Выбираются значения функциональных зависимостей $f_i(X_i)$ в моделируемой переменной.
3. Задаются границы временного интервала, на котором будет осуществляться прогнозирование.
4. Выполняется расчет прогнозных значений социально-экономических показателей X_1-X_7 .
5. Рассчитываются прогнозные значения для всей модели (5) в целом — для моделируемых переменных X_1-X_{10} решается задача Коши методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

6. Выполняется анализ адекватности построенной модели по регрессионной модели, ретроспективным данным и модель при необходимости корректируется.

Блок-схема алгоритма расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности приведена на рис. 4.

Для реализации разработанного математического обеспечения была создана "Программа для моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ" (сви-

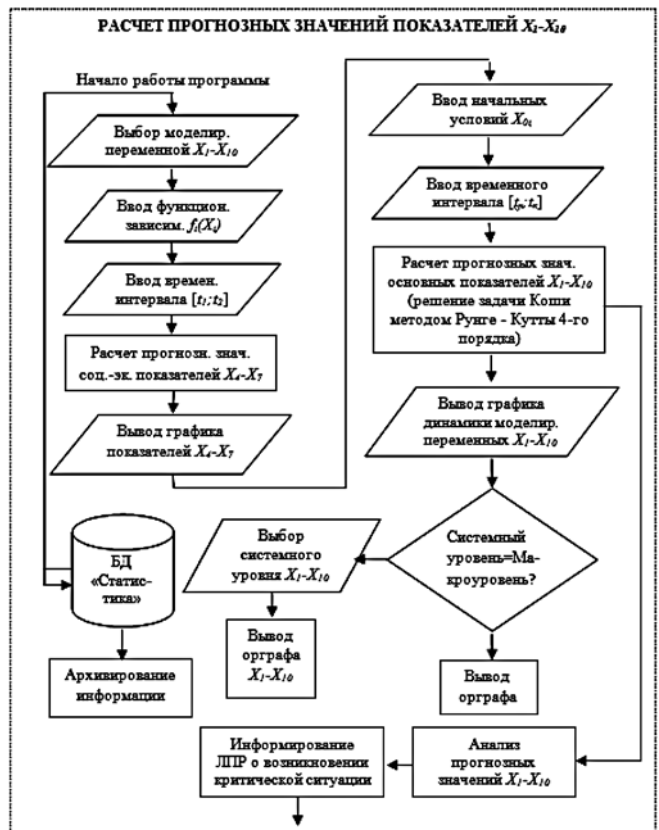


Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности

детельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661727, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 19.10.2016) [14].

На рис. 5 (см. вторую сторону обложки) приведен интерфейс программы при вычислении прогнозных значений социально-экономических показателей X_4 – X_7 . Расчет прогнозных значений показателей национальной безопасности по разработанной модели (5) на временном интервале $[0; 10]$ лет приведен на рис. 6 (см. вторую сторону обложки).

Начальные условия X_{0i} — нормированные значения показателей национальной безопасности РФ в 2015 г.:

$$X_{0i} = [1 \ 3,13 \ 1,09 \ 14,18 \ 1,19 \ 0,64 \ 0,5 \ 1,45 \ 1,28 \ 1].$$

3. Информационно-советующая система для расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности

Расчетные значения показателей национальной безопасности, определенные по модели (5), являются основой для разработки прогноза социально-экономического развития страны, который формируется на основе соответствующих прогнозов регионов [15]. Известно, что точность региональных прогнозов в силу ряда причин сегодня не превышает 60 %. Для повышения опе-

ративности принятия управленческих решений и точности прогнозирования была разработана автоматизированная информационно-советующая система, фрагмент которой приведен на рис. 7.

Информационная система позволяет автоматизировать процесс аккумулирования и обработки статистической информации, разработки прогнозных моделей и верификации полученных результатов прогнозирования.

Статистическая информация (демографические показатели, уровень цен, доходы населения, занятость, объемы промышленного и сельскохозяйственного производства и др.), необходимая для построения модели (5), поступает из территориальных отделов статистики в базу данных "Статистика", расположенную в отделе экономического анализа и прогнозирования муниципального образования. Далее с использованием "Программы для моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ" строится прогнозная модель, проводится проверка ее адекватности.

Из администрации муниципального образования сформированный прогноз, являющийся основой для разработки прогноза социально-экономического развития страны, поступает в Министерство экономического развития области. Среднесрочный прогноз разрабатывается ежегодно на очередной финансовый год и плановый период Министерством экономического развития РФ на основе анализа внешних и внутренних условий социально-экономического развития РФ с учетом основных направлений бюджетной, налоговой и таможенно-тарифной политики, а также на основе данных, предоставляемых федеральными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и другими участниками стратегического планирования¹.

Далее Министерство экономического развития РФ на основе сценарных условий и основных параметров среднесрочного прогноза, одобренных Правительством РФ, разрабатывает среднесрочный прогноз и направляет его на рассмотрение и согласование в Министерство финансов РФ, заинтересованные федеральные органы исполнительной власти и Центральный банк РФ, а также представляет его в Правительственную комиссию по бюджетным проектировкам.

В свою очередь среднесрочный прогноз, рассмотренный и одобренный Правительством РФ, Министерство экономического развития РФ до-

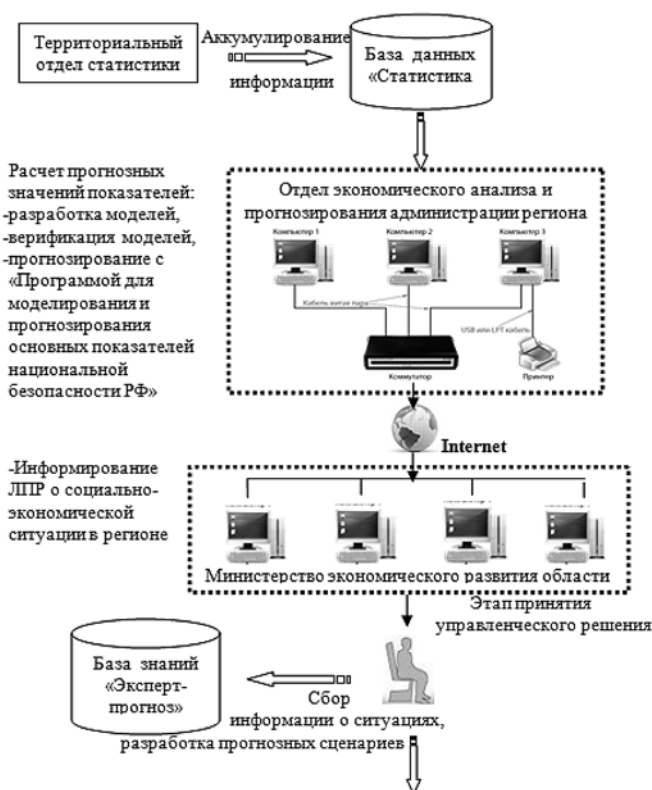


Рис. 7. Фрагмент информационно-советующей системы

¹ Постановление Правительства РФ от 14 ноября 2015 г. № 1234 "О порядке разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочный период и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации".

водит до сведения федеральных органов исполнительной власти, органов управления Пенсионного фонда РФ, Фонда социального страхования РФ, Федерального фонда обязательного медицинского страхования, Центрального банка РФ, органов исполнительной власти субъектов РФ и других участников стратегического планирования.

Заключение

В работе приведено описание разработанного математического обеспечения для информационно-советующей системы, предназначенной для имитационного моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ, определенных в Указе Президента РФ "О стратегии национальной безопасности Российской Федерации". Построен граф причинно-следственных связей между основными показателями национальной безопасности РФ и на его основе записана система дифференциальных уравнений с использованием принципа системной динамики.

Приведен алгоритм расчета прогнозных значений показателей национальной безопасности, реализованный с помощью специализированной "Программы для моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности РФ".

Представлена структура прототипа автоматизированной информационно-советующей системы поддержки принятия управленческих решений, предназначенной для имитационного моделирования и прогнозирования показателей национальной безопасности РФ.

Список литературы

1. **Акаев А. А., Садовничий В. А.** Математическое моделирование глобальной, региональной и национальной динамики с учетом воздействия циклических колебаний // Социальный анализ и моделирование: сайт. URL: <http://socmodel.com/Stat'i/20113A>. (дата обращения 01.02.2017).
2. **Геловани В. А., Бритков В. Б., Дубовский С. В.** Россия в мировой системе (1990—2022) // Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / Отв. ред. А. А. Акаев, А. В. Коротаев, Г. Г. Малинецкий. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. С. 172—188.
3. **О стратегии национальной безопасности Российской Федерации:** Указ Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683 // Российская газета. № 6871 от 13.01.2016.
4. **Клюев В. В., Байбури В. Б., Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Богомолов А. С., Филимонок Л. Ю.** Модели и алго-

ритмы мониторинга глобальной безопасности на основе деревьев событий // Контроль. Диагностика. 2015. № 8. С. 70—74.

5. **Новожилов Г. В., Резчиков А. Ф., Неймарк М. С., Цесарский Л. Г., Кушников В. А., Богомолов А. С., Филимонок Л. Ю., Шоломов К. И.** Управление авиационно-транспортными системами на основе причинно-следственных деревьев событий // Полет. 2015. № 6 (6). С. 13—17.

6. **Яндыбаева Н. В., Кушников В. А.** Математические модели, алгоритмы и комплексы программ для мониторинга эффективности образовательной деятельности вуза // Проблемы управления. 2015. № 1. С. 53—63.

7. **Кушников В. А., Яндыбаева Н. В.** Управление образовательным процессом вуза на основе модели Дж. Форрестера // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 2 (55). С. 172—176.

8. **Форрестер Дж.** Мировая динамика. М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2003. 379 с.

9. **Бродский Ю. И.** Лекции по математическому и имитационному моделированию. М. — Берлин: Директ-Медиа, 2015. 240 с.

10. **Цвиркун А. Д., Резчиков А. Ф., Яндыбаева Н. В., Кушников В. А.** Имитационное моделирование показателей национальной безопасности РФ // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014): Сб. научных трудов / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна; Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук. М.: ИПУ РАН, 2014. С. 155—163.

11. **Резчиков А. Ф., Цвиркун А. Д., Кушников В. А., Яндыбаева Н. В., Иващенко В. А.** Методы прогнозной оценки социально-экономических показателей национальной безопасности // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 37—44.

12. **Яндыбаева Н. В., Кушников В. А.** Математическая модель для прогнозирования изменений показателей национальной безопасности России // Научное обозрение. 2015. № 10-1. С. 115—121.

13. **Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Богомолов А. С., Филимонок Л. Ю., Яндыбаева Н. В.** Математические модели для контроля, диагностики и прогнозирования состояния национальной безопасности России // Контроль. Диагностика. 2016. № 3. С. 43—51.

14. **Яндыбаева Н. В.** Программный продукт для моделирования и прогнозирования основных показателей национальной безопасности Российской Федерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 3. С. 94—100.

15. **Яндыбаева Н. В.** Модели и методы прогнозирования социально-экономического развития региона // Проблемы развития устойчивых отношений между государством, гражданским обществом и бизнесом: вызовы времени. Сборник статей по материалам конференции, посвященной Дню российской науки. Саратов: Балаковский филиал ФГБОУ ВО РАНХиГС. 2016. С. 165—173.

A. F. Rezhnikov, D. Sc., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: rezchikov1939@mail.ru, Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov,
N. V. Yandybaeva, Ph. D., e-mail: nat07@inbox.ru, Balakovskiy Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Balakovo,
V. A. Kushnikov, D. Sc., Professor, e-mail: kushnikoff@yandex.ru,
V. A. Ivashchenko, D. Sc., Professor, e-mail: iptmuran@san.ru,
A. S. Bogomolov, Ph. D., Associate Professor, e-mail: alexbogomolov@yandex.ru,
L. Y. Filimonyuk, Ph. D., e-mail: filimonyukleonid@mail.ru,
Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov

Information and Advisory System for Modeling and Forecasting the Dinamik of National Security Indicators on the Basis of Cause-Effect Complexes and Forrester Equations

The article presents the structure of the information and advisory system intended for imitation modeling and forecasting of the main indicators of the national security of the Russian Federation. Mathematical basis of the system is a complex of mathematical models, consisting of a model of system dynamics and regression models.

Mathematical model developed based on system dynamics models, allows formalizing the complex casual relationships between system variables. System dynamics model consists of the following elements: the system levels, which represent the accumulation of (accumulation) in feedback circuits; streams conveying the content of one level to another; making procedures that govern the rate of flow between the levels; information channels connecting procedures decisions levels. To describe the model developed using the apparatus of ordinary differential equations. As systemic levels presented the indicators of national security. To illustrate the casual relationships between system-level mathematical model developed using the graph model. Regression models are used to verify the adequacy of system dynamics models. Forecast values of national security indicators are determined from the solution of a system of nonlinear differential equations.

A heuristic numerical algorithm is developed to calculate the forecast values of national security indicators based on the developed mathematical software. The block diagram of the calculated algorithm is given. To increase the efficiency and accuracy of management decisions, a "Program for simulation modeling and forecasting of main indicators of national security" was developed. A fragment of the information and advisory system designed to support the adoption of managerial decisions is described. The information system can be used by specialists of the Department of Economic Analysis and Forecasting of Administrations of Regional and Federal Levels. She is allows to automate the process of accumulation and processing of statistical information, development of forecast models and verification of the results of forecasting.

Keywords: national security, system dynamics, differential equations, object-oriented programming

References

1. **Akaev A. A., Sadovnichiy V. A.** *Matematicheskoe modelirovanie global'noj, regional'noj i nacional'noj dinamiki s uchetom vozdeystviya ciklicheskih kolebanij*, Social'nyj analiz i modelirovanie: sajt. URL: <http://socmodel.com/Stat'i/20113A>. (access 01.02.2017) (in Russian).
2. **Gelovani V. A., Britkov V. B., Dubovskij S. V.** *Rossija v mirovoj sisteme (1990—2022). Prognoz i modelirovanie krizisov i mirovoj dinamiki*, ed. A. A. Akaev, A. V. Korotaev, G. G. Malineckij, Moscow, LIBROKOM, 2009, pp. 172—188 (in Russian).
3. *O strategii natsional'noi bezopasnosti Rossijskoi Federatsii* (utv. Ukazom Prezidenta RF ot 31 dekabrya 2015 g. № 683), Rossiiskaya gazeta. no. 6871 ot 13.01.2016 (in Russian).
4. **Kljuev V. V., Bajburin V. B., Rezhnikov A. F., Kushnikov V. A., Bogomolov A. S., Filimonjuk L. Ju.** *Modeli i algoritmy monitoringa global'noj bezopasnosti na osnove derev'ev sobytij, Kontrol'. Diagnostika*, 2015, no. 8, pp. 70—74 (in Russian).
5. **Novozhilov G. V., Rezhnikov A. F., Nejmark M. S., Cesar'skij L. G., Kushnikov V. A., Bogomolov A. S., Filimonjuk L. Ju., Sholomov K. I.** *Upravlenie aviacionno-transportnymi sistemami na osnove prichinno-sledstvennyh derev'ev sobytij, Polet*, 2015, no. 6 (6), pp. 13—17 (in Russian).
6. **Jandybaeva N. V., Kushnikov V. A.** *Matematicheskie modeli, algoritmy i komplekxy programm dlya monitoringa jeffektivnosti obrazovatel'noj dejatel'nosti vuza, Problemy upravlenija*, 2015, no. 1, pp. 53—63 (in Russian).
7. **Kushnikov V. A., Jandybaeva N. V.** *Upravlenie obrazovatel'nym processom vuza na osnove modeli Dzh. Forrester, Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2011, no. 2 (55), pp. 172—176 (in Russian).
8. **Forrester Dzh.** *Mirovaja dinamika*. Moscow, AST; Saint-Peterburg, Terra Fantastica, 2003. 379 p. (in Russian).
9. **Brodskij Ju. I.** *Lekcii po matematicheskomu i imitacionnomu modelirovaniju*, Moscow—Berlin: Direkt-Media, 2015, 240 p. (in Russian).
10. **Tcvirkun A. D., Rezhnikov A. F., Jandybaeva N. V., Kushnikov V. A.** *Imitacionnoe modelirovanie pokazatelej nacional'noj bezopasnosti RF, Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem (MLSD'2014), Sbornik nauchnyh trudov*, eds. S. N. Vasil'eva, A. D. Cvirikuna; In-t problem upravlenija im. V. A. Trapeznikova Ros. akad. nauk, Moscow, IPU RAN, 2014, pp. 155—163 (in Russian).
11. **Rezhnikov A. F., Tcvirkun A. D., Kushnikov V. A., Yandybaeva N. V., Ivashchenko V. A.** *Metody prognoznoi otsenki sotsial'no-ekonomicheskikh pokazatelej natsional'noi bezopasnosti. Problemy upravleniya*, 2015, no. 5, pp. 37—44 (in Russian).
12. **Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A.** *Matematicheskaya model' dlya prognozirovaniya izmenenij pokazatelej natsional'noi bezopasnosti Rossii. Nauchnoe obozrenie*, 2015, no. 10-1, pp. 115—121 (in Russian).
13. **Klyuev V. V., Rezhnikov A. F., Kushnikov V. A., Ivashchenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Ju., Yandybaeva N. V.** *Matematicheskie modeli dlya kontrolya, diagnostiki i prognozirovaniya sostoyaniya natsional'noi bezopasnosti Rossii, Kontrol'. Diagnostika*, 2016, no. 3, pp. 43—51 (in Russian).
14. **Jandybaeva N. V.** *Programmnyj produkt dlya modelirovaniya i prognozirovaniya osnovnyh pokazatelej nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii, Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*, 2016, no. 3, pp. 94—100 (in Russian).
15. **Jandybaeva N. V.** *Modeli i metody prognozirovaniya social'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona, Problemy razvitiya ustojchivyh otnoshenij mezhdru gosudarstvom, grazhdanskim obshhestvom i biznesom: vyzovy vremeni, Sbornik statej po materialam konferencii, posvjashhjonnoj Dnju rossijskoj nauki*, Balakovskij filial FGBOU VO RANHiGS, Saratov, 2016, pp. 165—173 (in Russian).