

Управление в социально-экономических системах Control in social and economic systems

Научная статья
УДК 31.35.51
DOI: 10.14529/ctcr240306

СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТЕСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ОСНОВЕ СОБЫТИЙНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ ФАКТОРОВ

С.А. Баркалов¹, bsa610@yandex.ru
И.В. Чернов², chernov@ipu.ru
В.Р. Фейзов², vadimus150@gmail.com

¹ Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

² Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. В работе представлен сценарный подход к исследованию протестного потенциала в обществе с использованием математического аппарата теории графов и программного комплекса имитационного моделирования. **Цель.** Работа направлена на построение сценарно-когнитивной модели, отражающей ключевые факторы, такие как: уровень депривации населения, общее благополучие, социальные страхи, доверие к власти, социальные ожидания, стабильность социальных структур. **Материалы и методы.** В качестве метаматематического аппарата в проведенном исследовании используется модель функциональных ориентированных графов, которая, в свою очередь, является развитием классической когнитивной модели. При программной реализации для расчета э-сценариев поведения вершин применен метод линейного регрессионного анализа данных. **Результаты.** Приведены результаты сценарного исследования построенной модели, получены прогнозные сценарии динамики развития протестного потенциала общества при различных условиях и воздействиях. В основе исследования лежит изучение возможной реакции сложной системы на внешние деструктивные воздействия и предлагается комплекс мер по противодействию таким воздействиям на социальную динамику. Сценарная методология объединяет теорию графов для представления сложных взаимосвязей между ключевыми факторами и имитационное моделирование для прогнозирования возможных сценариев развития ситуации. Проведение подобного исследования связано с модификацией традиционного математического аппарата когнитивного моделирования. Разработаны методы и алгоритмы сценарно-событийной идентификации поведения значимых факторов модели, а также методы использования результатов такой идентификации при формировании сложных функциональных взаимосвязей в сценарной модели. При этом в процессе генерации сценариев значительно расширяется множество событий, которые при традиционном подходе к когнитивному моделированию могли быть упущены, но могут иметь ключевое значение для анализа ситуации. **Заключение.** Представленная в работе технология сценарного моделирования реализована в соответствующем программно-аналитическом комплексе, целью разработки которого является автоматизация процессов сценарного исследования социально-экономических и политических систем.

Ключевые слова: сценарный подход, теория графов, имитационное моделирование, управление протестным потенциалом, социальная динамика, внешнее деструктивное воздействие, меры противодействия, социальная стабильность, математическое моделирование

Для цитирования: Баркалов С.А., Чернов И.В., Фейзов В.Р. Сценарное моделирование протестного потенциала на основе событийной идентификации динамики факторов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2024. Т. 24, № 3. С. 67–81. DOI: 10.14529/ctcr240306

Original article
DOI: 10.14529/ctcr240306

SCENARIO ANALYSIS OF PROTEST POTENTIAL BASED ON EVENT IDENTIFICATION OF THE DYNAMICS OF FACTORS

S.A. Barkalov¹, bsa610@yandex.ru
I.V. Chernov², chernov@ipu.ru
V.R. Feyzov², vadimus150@gmail.com

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. In this study, we present a scenario-based approach to investigate the protest potential in society using mathematical tools from graph theory and simulation modeling. **The research objective.** The research aims to construct a cognitive map that reflects key factors, such as population deprivation levels, overall well-being, social fears, trust in authority, social expectations, and stability of social structures. **Materials and methods.** The model of functional oriented graphs, which in turn is a development of the classical cognitive model, is used as a metamathematical apparatus in the study. In the software implementation, the method of linear regression data analysis was used to calculate e-scenarios for the behavior of vertices. **Results.** We report the results of a scenario analysis of the developed model, obtaining forecasted scenarios of the dynamics of society's protest potential under various conditions and influences. At the core of this research is the examination of a complex system's possible response to external destructive impacts, and we propose a set of measures to counteract these influences on societal dynamics. The scenario methodology combines graph theory for representing complex relationships between key factors and simulation modeling for predicting potential developmental scenarios. Conducting this study required modifying the traditional mathematical apparatus of cognitive modeling. We developed methods and algorithms for scenario-event identification of the model's significant factors' behavior and utilizing the results of such identification when forming complex functional relationships in the scenario model. In generating scenarios, the range of events is significantly expanded compared to traditional cognitive modeling approaches, which could have been overlooked but may be crucial for situational analysis. **Conclusion.** The scenario modeling technology presented in the work is implemented in the appropriate software and analytical complex, the purpose of which is to automate the processes of scenario research of socio-economic and political systems.

Keywords: scenario approach, graph theory, simulation modeling, protest potential management, social dynamics, external destructive influence, countermeasures, social stability, mathematical modeling

For citation: Barkalov S.A., Chernov I.V., Feyzov V.R. Scenario analysis of protest potential based on event identification of the dynamics of factors. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2024;24(3):67–81. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr240306

Введение

Сложные социально-экономические системы, какими, безусловно, являются государства, требуют комплексного и многофакторного подхода в управлении всеми сферами деятельности. Сфера обеспечения безопасности государства тесно переплетается с экономической, политической и социальной сферой, но никак не ограничивается ими. Очевидным является тот факт, что для каждого объекта управления эти сферы будут иметь свои специфические отличия, которые будет затруднительно анализировать, если исследователь не является специалистом по конкретному региону или ситуации. Тем не менее общедоступная статистика и исторические данные предоставляют возможность выделить некоторые фундаментальные показатели, которые являются основой при формировании прогнозных моделей [1–3]. При анализе динамики таких показателей появляется возможность совершенствования принимаемых управленческих решений, в том числе в контексте превентивного противодействия внешним угрозам [4–6].

Использование имитационного моделирования, в основе которого лежит классический аппарат когнитивных карт, позволяет исследовать сложные процессы и учитывать множество факторов, однако при таком анализе часто теряется вариативность будущих состояний исследуемой системы. Для того чтобы учитывать и исследовать динамику модели, предлагается использовать

инструментарий сценарного анализа. Отличительным фактором сценарного анализа, который применяется во многих сферах от экономики до технологий и медицины, является возможность учитывать факторы, которые влияют на изменение состояний системы. Сценарный анализ позволяет учитывать факторы и зависимости, связанные с различными условиями и состояниями, в том числе неопределенностью, что позволяет работать в ситуации, когда на результат моделирования влияют факторы, изменяющиеся во времени или в зависимости от действий участников процесса [7–9]. Наиболее ярко сценарный подход проявляется в качестве инструмента стратегического планирования [10]. Сбор данных для формирования корректно построенной модели часто основывается на заключениях экспертов этой области, что позволяет оперировать экспертно-значимыми событиями и отбрасывать ненужные факторы и события.

В настоящее время накоплен значительный опыт решения широкого круга прикладных и практических задач в области сценарного анализа процессов организационного управления [11]. Одновременно с этим обобщение результатов практического применения сценарного подхода и когнитивного моделирования позволило выявить и ряд имеющихся технологических ограничений, в частности, не позволяющих в полной мере анализировать влияние динамики изменения значений ключевых факторов модели и (или) моментов смены характера данной динамики на исследуемые свойства и характеристики моделируемых процессов развития сложных объектов управления (социально-экономических, общественно-политических, информационных и иных систем), что неизбежно сказывается на качестве генерируемых сценариев и визуализации полученных результатов.

1. Методы событийной идентификации в сценарном анализе

В качестве метаматематического аппарата в проведенном исследовании используется модель функциональных ориентированных графов, которая, в свою очередь, является развитием классической когнитивной модели [12]. Структура модели задается ориентированным графом $G(X, E)$ с множеством вершин X и множеством дуг E . Кроме этого, модель дополнена следующими компонентами: множеством параметров вершин $V = \{ v_i, i \leq N = \|X\| \}$, т. е. каждый параметр $v_i \in V$ соответствует вершине x_i . Определяется также функционал преобразования взаимодействия между факторами модели в форме параметров дуг, в общем случае – это функция $f_{ij}(v_i, v_j)$, в частном случае – это или знак («+» или «-»), или вес ($+W_{ij}$ или $-W_{ij}$).

В работе приводится алгоритм идентификации типа динамики значимых факторов модели и использование его результатов в функциональных связях между факторами модели, а также для визуализации результатов моделирования. Приводится пример использования разработанного алгоритма при исследовании модели социальной стабильности.

Элементарный сценарий (э-сценарий) представляет собой базовую характеристику поведения вершины на конкретном временном интервале. Возможны следующие типы э-сценариев [13]: рост (тип 1), падение (тип 2), постоянно (тип 3), колебания вокруг постоянного значения (тип 4), расходящиеся колебания (тип 5), сходящиеся колебания (тип 6).

Расчет э-сценариев поведения вершин при программной реализации может определяться тремя основными параметрами: период, интервал и задержка. Их значения задаются пользователем и каждое из них представляет собой число шагов.

Период (p) задает периодичность расчета э-сценариев. Вычисления производятся на шагах, кратных периоду. При этом количество шагов, участвующих в расчете, зависит от заданного интервала (n). Задержка (d) сдвигает интервал на d шагов к началу моделирования.

Например, заданы следующие значения параметров: $p = 10$, $n = 6$, $d = 2$. Тогда расчет э-сценариев будет осуществляться на шагах 10, 20, 30 и т. д. При этом в вычислениях будут участвовать значения вершин на шагах 3–8, 13–18, 23–28 и т. д.

Э-сценарий рассчитывается алгоритмом для всего следующего за моментом расчета периода, т. е. каждая вершина на всех шагах следующего периода характеризуется одним э-сценарием.

При программной реализации для расчета э-сценариев поведения вершин применен метод линейного регрессионного анализа данных [14]. Этот метод позволяет аппроксимировать локальные максимумы и минимумы значений параметра вершины на рассматриваемом интервале, представив их в виде одной (монотонный рост или падение) или двух линий. По углу наклона этой линии или нескольких линий определяется тип э-сценария.

Исходными данными для каждой вершины является набор значений параметра i -й вершины v_i на шагах $[p - n - d + 1; p - d]$. Всего n значений. Сначала они приводятся к логарифмическому виду, при этом знак сохраняется:

$$y_i = \pm \ln(|v_i| + 1), \quad (1)$$

где v_i – значение параметра вершины, полученное в результате моделирования; y_i – значение вершины, приведенное к логарифмическому виду.

Рассчитываются математические ожидания значения вершины и количества шагов (времени) на рассматриваемом интервале:

$$M[y] = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (2)$$

$$M[i] = \frac{\sum_{i=1}^n i}{n}. \quad (3)$$

Далее определяется дисперсия значений, дисперсия шагов и ковариация:

$$D[y] = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - M[y])^2}{n}, \quad (4)$$

$$D[i] = \frac{\sum_{i=1}^n (i - M[i])^2}{n}, \quad (5)$$

$$\text{cov}(y, i) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - M[y])(i - M[i])}{n}. \quad (6)$$

Уравнение линии регрессии представлено формулой

$$f(x) = b_0 + b_1 x, \quad (7)$$

где b_0 и b_1 – коэффициенты линии регрессии.

Коэффициент b_1 представляет собой коэффициент угла наклона линии регрессии Θ и вычисляется как отношение ковариации значений и шага к дисперсии шага:

$$b_1 = \Theta = \frac{\text{cov}(y, i)}{D[i]} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - M[y])(i - M[i])}{\sum_{i=1}^n (i - M[i])^2}. \quad (8)$$

Коэффициент b_1 показывает, на сколько процентов изменится значение вершины с ростом шага.

Коэффициент b_0 рассчитывается по формуле

$$b_0 = M[y] - b_1 M[i]. \quad (9)$$

Для оценки качества полученного уравнения регрессии можно использовать коэффициент детерминации R^2 :

$$R^2 = \left(\frac{\text{cov}(y, i)}{\sqrt{D[i] * D[y]}} \right)^2. \quad (10)$$

Коэффициент детерминации (R^2) отражает меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели. Таким образом он показывает, насколько хорошо подобрана регрессия. Коэффициент детерминации может принимать значения от 0 до 1. Если он равен 1, то все данные выстроены в линию и регрессия подобрана идеально. Следует отметить, что при анализе данных, полученных эмпирическим путем, граничные значения для R^2 практически невозможно достигнуть. Тем не менее если вводные данные для анализа являются итогами компьютерного моделирования, то их трудно считать случайными значениями. В таком случае проведенный регрессионный анализ можно рассматривать в качестве метода машинного обучения, направленного на классификацию тенденций значений входной последовательности. Исходя из этих соображений вполне вероятными являются случаи, когда в результате оценки регрессии значение коэффициента детерминации близко или равно единице. В качестве примера такого случая можно рассматривать строго растущую или строго убывающую динамику анализируемого фактора, полученную как результат моделирования сценария.

Реализованный алгоритм расчета э-сценариев предполагает два варианта анализа поведения вершин в зависимости от типа анализируемого процесса. Он может быть монотонным или содержащим колебания.

В качестве исходных данных анализа для выбранного диапазона изменения значения факторов используются точки локальных максимумов для построения верхней линии регрессии и ло-

кальных минимумов для построения нижней линия регрессии [13]. Подобный алгоритм выбора данных для регрессионного анализа позволяет в некоторой мере детализировать более общий метод применения фиктивных переменных для точек перегиба, поскольку формируется две выборки анализируемых данных: локальные максимумы и локальные минимумы. Затем две эти сформированные выборки отдельно оцениваются и определяются их тренды. Сопоставление результатов подобного оценивания, как будет видно далее, позволит определить тип динамики фактора. Таким образом, для расчетов нет необходимости оценивать всю изначальную выборку, полученную в результате моделирования.

Для определения типа процесса подсчитывается количество максимумов и минимумов на исследуемом интервале. Точка считается максимумом, если $y_i - y_{i-1} \geq 0$ и $y_{i+1} - y_i < 0$ и минимумом, если $y_i - y_{i-1} \leq 0$ и $y_{i+1} - y_i > 0$.

Если количество максимумов меньше или равно 1 или количество минимумов меньше или равно 1, то процесс считается монотонным. Иначе – колебательным.

Для монотонного процесса сценарий определяется исходя из рассчитанного коэффициента угла наклона линии регрессии (8). Если $\Theta > 0$, то сценарий представляет собой рост, без выраженных перегибов (тип 1). Если $\Theta < 0$ – падение (тип 2). Иначе – постоянное значение или колебания, ограниченные по амплитуде (тип 3).

Таким образом, в отличие от монотонного процесса, где используется одна линия регрессии, построенная по всем данным, для колебательного процесса необходимо провести две линии регрессии – по точкам максимумов и точкам минимумов (рис. 1).

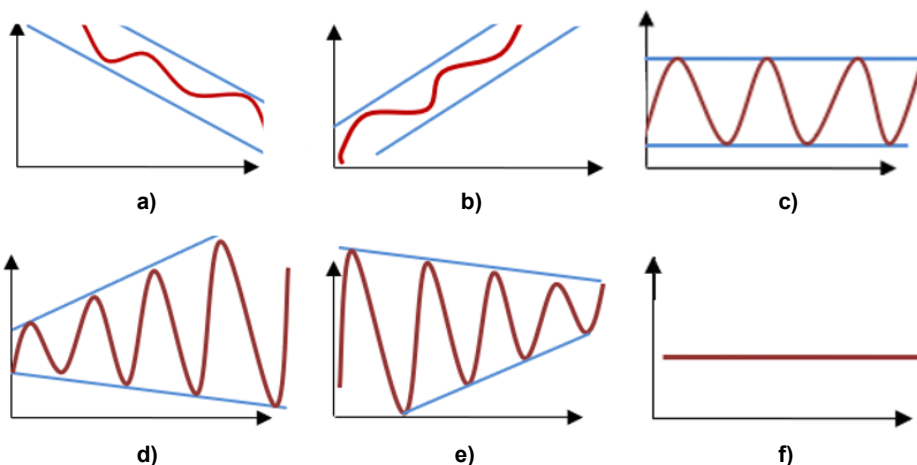


Рис. 1. Иллюстрация оценки колебательных процессов
Fig. 1. Illustration of the assessment of oscillatory processes

Предварительно необходимо внести корректировку в имеющиеся наборы максимумов и минимумов значений факторов. Подобная корректировка проводится с целью устранения случайных всплесков и заключается в том, что если имеется чередование знака максимумов, то в итоговый набор включаются только положительные максимумы. Аналогично, если есть чередование знака минимумов, то в итоговый набор данных для анализа включаются только отрицательные минимумы.

Принцип расчета коэффициентов для линий регрессии по максимумам и минимумам аналогичен представленному ранее (2)–(9).

В качестве исходных данных берется скорректированный набор значений максимумов y_{max} и набор порядковых номеров шагов в рамках интервала, на которых максимумы произошли s_{max} . Всего n_{max} значений в каждом наборе.

Далее считается математическое ожидание и дисперсия для каждого набора и их ковариация:

$$M[y_{max}] = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} y_{max i}}{n_{max}}, \quad (11)$$

$$M[s_{max}] = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} s_{max i}}{n_{max}}, \quad (12)$$

$$D[y_{max}] = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} (y_{max_i} - M[y_{max}])^2}{n_{max}}, \quad (13)$$

$$D[s_{max}] = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} (s_{max_i} - M[s_{max}])^2}{n_{max}}, \quad (14)$$

$$cov(y_{max}, s_{max}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} (y_{max_i} - M[y_{max}]) * (s_{max_i} - M[s_{max}])}{n_{max}}. \quad (15)$$

На основании полученных величин вычисляется коэффициент угла наклона линии регрессии по максимумам:

$$\Theta_{max} = \frac{cov(y_{max}, s_{max})}{D[s_{max}]} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{max}} (y_{max_i} - M[y_{max}]) * (s_{max_i} - M[s_{max}])}{\sum_{i=1}^{n_{max}} (s_{max_i} - M[s_{max}])^2}. \quad (16)$$

Подобным образом проводится расчет коэффициента угла наклона линии регрессии по минимумам.

Далее вводится понятие угла погрешности Θ_{err} . Если абсолютное значение коэффициента угла наклона линии регрессии меньше Θ_{err} , то он считается равным 0.

Для колебательного процесса определение элементарного сценария опирается на рассчитанные значения коэффициентов угла наклона линий регрессии по максимумам и по минимумам, а также на принятую погрешность.

Введем переменную Sc – тип э-сценария фактора на заданном интервале.

Если $\Theta_{max} > \Theta_{err}$ и $\Theta_{min} > \Theta_{err}$, то э-сценарий поведения фактора на интервале представляет собой рост (рис. 1a) монотонный или немонотонный, $Sc = 1$.

Иначе, если $\Theta_{max} < -1 * \Theta_{err}$ и $\Theta_{min} < -1 * \Theta_{err}$ (рис. 1b), то э-сценарий поведения фактора на интервале представляет собой падение монотонное или немонотонное, $Sc = 2$.

Иначе, если $|\Theta_{max}| \leq \Theta_{err}$ и $|\Theta_{min}| \leq \Theta_{err}$ (рис. 1c), то э-сценарий представляет собой колебания вокруг постоянного значения (рис. 1c), ($Sc = 4$).

Иначе если $\Theta_{max} > 0$ и $\Theta_{min} < 0$ и $\left| \frac{\Theta_{max}}{\Theta_{min}} - 1 \right| > \Theta_{err}$ (рис. 1d), то сценарий представляет собой расходящиеся колебания ($Sc = 5$).

Иначе если $\Theta_{min} < 0$ и $\Theta_{min} > 0$ и $\left| \frac{\Theta_{max}}{\Theta_{min}} - 1 \right| > \Theta_{err}$ (рис. 1e), то э-сценарий представляет собой сходящиеся колебания ($Sc = 6$).

Иначе, как показано на рис. 1e и рис. 1f, – постоянное значение (см. рис. 1f), $Sc = 3$.

Переменные э-сценариев факторов Sc могут использоваться в качестве аргументов функция весов дуг. Кроме того, в процессе вычисления э-сценариев факторов можно также определять значения интервала времени (в шагах моделирования), на котором сохраняется текущий тип э-сценария (TS) и долю реализации k -го типа э-сценария за все прошедшее время моделирования (Dol) [13].

Например, пусть имеется модель протестной активности (рис. 2). Одной из причин роста протестной активности (фактор 1) может являться снижение качество жизни населения (фактор 6), причем не одномоментные колебания этого фактора, а относительно долговременные тенденции и имеющие негативную историю в прошлом, что вполне соответствует реальности [13]. К тому же будем полагать, что строго негативные тенденции оказывают влияние на протестную активность намного сильнее, чем прочие. Поэтому вполне обоснованно сформировать функционал одной из связей между этими моделями на основе идентификации э-сценариев. Тогда вес дуги $D_{1,6}$ мог бы быть, например, таким [13]:

$$D_{1,6} = if(SC_6 = 1 \text{ and } TS_6 = 11 \text{ and } DOL_6(2) > 30, 2 * I_6, 0), \quad (17)$$

что означает следующее: если изменение параметра вершины 6 является ростом ($SC_6 = 1$) и такая динамика сохранялась на протяжении 11 шагов моделирования ($TS_6 = 11$), причем эта же динамика в совокупности имела место более чем в течении 30 % всего прошедшего времени моделирования ($DOL_6(2) > 30$), то по дуге $D_{1,6}$ в каждый момент времени проходит импульс, равный $2 * I_6$. Если динамика параметра иная, то влияние ничтожно и импульс не проходит, что фактически означает разрыв дуги. Это лишь простой пример применения новых переменных в функциональных взаимосвязях. Безусловно, можно выстроить ряд вложенных логических выражений, отрабатывающих более сложные ситуации.

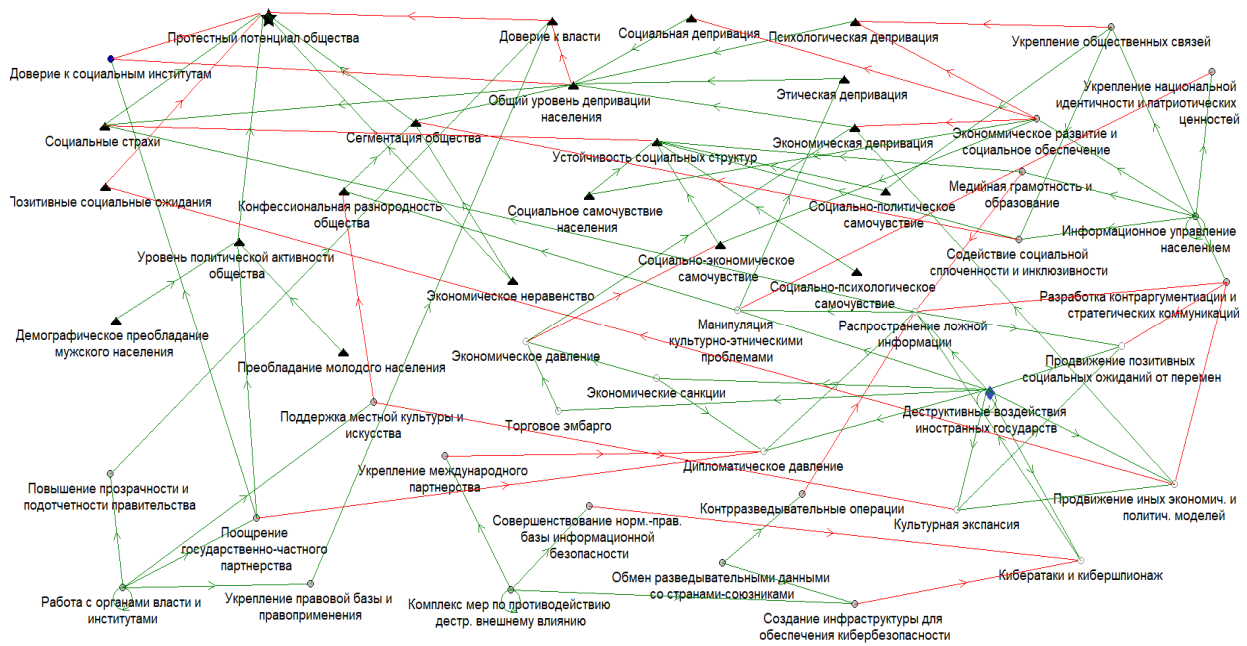


Рис. 2. Общая сценарная модель паспорта протестного потенциала
Fig. 2. General scenario model of the protest potential passport

2. Моделирование сценариев

Сценарием является последовательность экспертно-значимых событий, т. е. таких событий, важность которых для анализа поведения объекта управления и для принятия управленческих решений определяются специалистами в моделируемой предметной области. В данной модели экспертно-значимое событие определяется динамикой пяти выделенных факторов:

- 1) протестный потенциал общества;
- 2) комплекс мер по противодействию деструктивному внешнему влиянию;
- 3) устойчивость социальных структур;
- 4) общий уровень депривации населения;
- 5) сегментация общества.

Изменение расчетного значения динамики (SC_i) любого из этих 5 факторов означает появление нового события. Как показали результаты сценарного исследования сформированной модели, все выделенные факторы имели только 4 типа динамики: рост, падение, постоянное значение, расходящиеся колебания (неустойчивость).

В модели учитывались три основные группы факторов: факторы, связанные с базовым слоем модели, или факторы, влияющие на протестный потенциал исследуемой страны; факторы, связанные с внешним деструктивным воздействиям; факторы, связанные с противодействиями такого рода вызовам. Модель представляет собой наиболее репрезентативный пример стратегического уровня планирования, который учитывает факторы, связанные с многими сферами деятельности объекта управления (страны) одновременно. Обуславливается это тем, что общество, которое и образует страну и без которого государство не могло бы функционировать, вовлечено во многие сферы деятельности. Столь повсеместное вовлечение в деятельность позволяет не только определить соответствующие общие характеристики модели, но и выделить уязвимые места, которые необходимо учитывать для обеспечения устойчивого функционирования системы.

2.1. Сценарий противодействия

Результат моделирования первого сценария, поведение факторов модели без противодействия внешним угрозам представлены на рис. 3.

Как показывают результаты моделирования, целевой фактор модели «Протестный потенциал общества» показывает возрастающую динамику параллельно с ослаблением фактора «Сегментация общества», что, в свою очередь, сигнализирует о том, что при активизации деструктивного воздействия результаты моделирования неудовлетворительны и необходимо подключать факторы управления ситуацией.

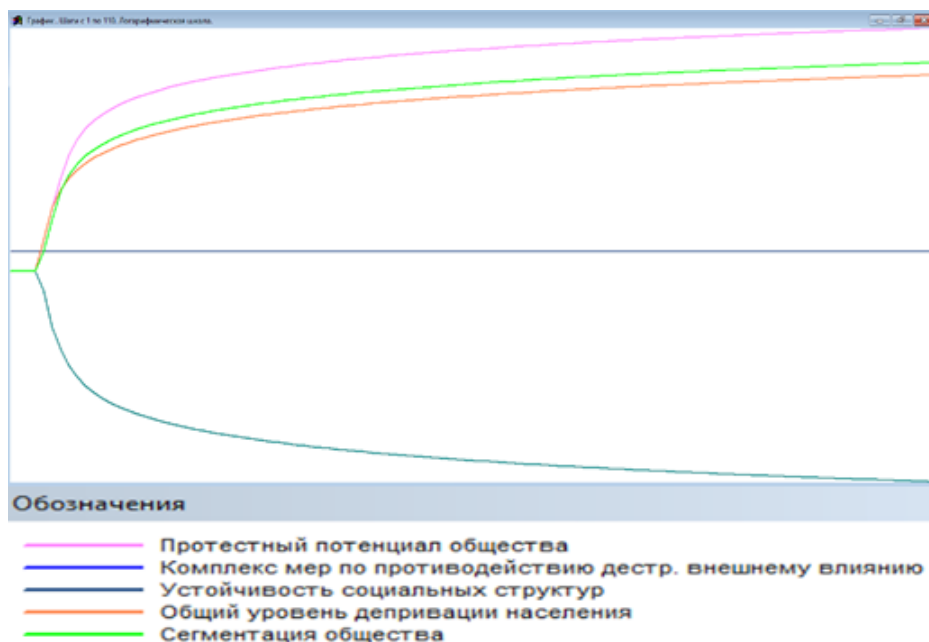


Рис. 3. Сценарий отсутствия противодействия
Fig. 3. Scenario of counteraction absence

2.2. Сценарий упреждающего противодействия

Моделирование, как и в предыдущем случае, происходит при активации деструктивных воздействий, связанных с фактором «Деструктивное влияние иностранных государств». При этом активируется весь комплекс мероприятий, связанных с этой вершиной. Комплекс подобных воздействий включает различные факторы, связанные с управлением в сфере экономики, культурной и политической экспансией, а также проводимые кибератаки и компании по дезинформации. Следует отметить, что факторы модели являются информационными, т. е. под ними надо понимать их восприятие социумом, а не какие-либо числовые характеристики.

На рис. 4 и 5 представлены результаты моделирования в графической и по-событийной форме соответственно.

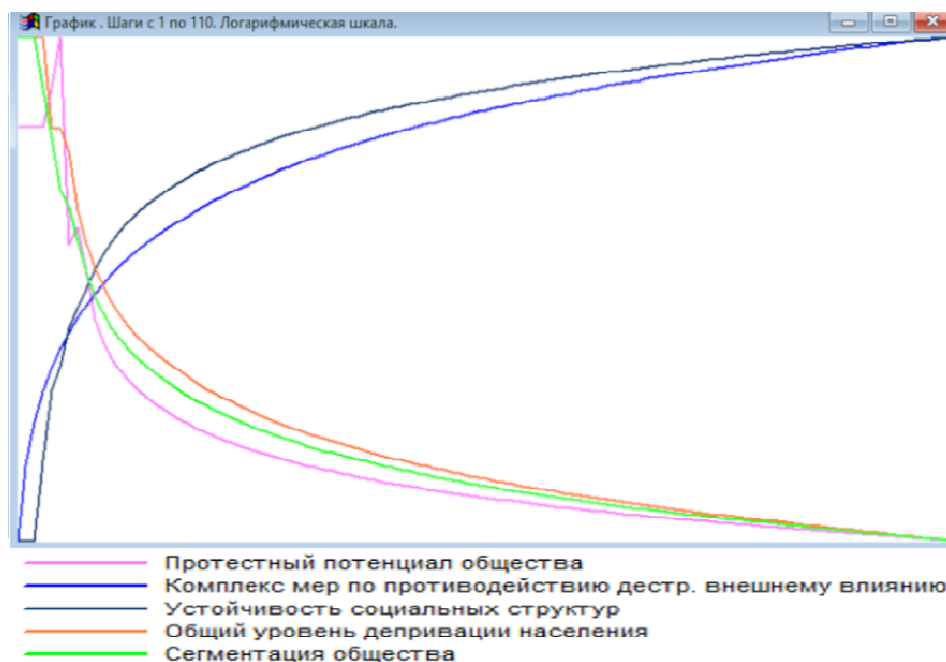


Рис. 4. Сценарий упреждающего противодействия
Fig. 4. Scenario of proactive counteraction

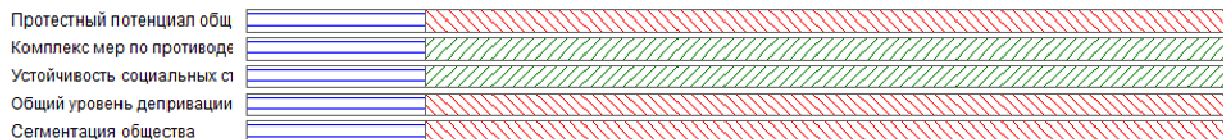


Рис. 5. Событийная динамика поведения факторов второго сценария
Fig. 5. Event dynamics of factor behavior in the second scenario

Для представления результатов моделирования в сценарной, по-событийной форме используются обозначения, представленные в табл. 1.

Обозначения факторной динамики
Designations of factor dynamics

Таблица 1
Table 1

Индикация динамики	Тип динамики	Sc_i
	Рост	1
	Падение	2
	Постоянное значение	3
	Неустойчивость (расходящиеся колебания)	4

Первое событие соответствует периоду времени, когда тенденции по приведенному выше алгоритму еще не рассчитаны, поскольку не прошло необходимое количество начальных шагов моделирования (для этой модели интервал шагов, по которым определяются тенденции, $TS_i = 20$).

Второе событие, описание которого представлено в нижней части рис. 5. имеет следующее содержание: наблюдается снижение протестного потенциала на фоне усиления мер противодействия деструктивным явлениям. При этом уменьшается уровень депривации населения, что отрицательно влияет и на сегментацию общества, и на консолидацию населения, одновременно с усилением факторов управления возрастает стабильность социальных структур. Появление этого события связано с комплексным влиянием вершины «Информационный контроль общества», что в совокупности влияет на цель моделирования, и как результат – наблюдается снижение протестного потенциала общества.

При дальнейшем моделировании новых событий в сценарии не появляется. Таким образом, при упреждающем противодействии деструктивным воздействиям удастся сохранить социальную стабильность общества посредством превентивной активации влияния факторов: «Информационный контроль общества», «Противодействие деструктивному иностранному влиянию» и «Работа с государственными органами и учреждениями». Здесь следует отметить, что каждое из этих направлений реализации управления направлено на определенное воздействие не только с базовым слоем модели, но и факторами, связанными непосредственно с внешним влиянием. Так, например, фактор «Противодействие деструктивному иностранному влиянию» активирует вершину «Укрепление международного партнерства», которая позволяет уменьшить дипломатическое давление на страну.

2.3. Сценарий противодействия с задержкой

Формирование следующего сценария (рис. 6) осуществляется также при активации фактора «Деструктивное влияние иностранных государств» и при аналогичном предыдущему сценарию противодействию. Отличие состоит лишь в том, что в этом случае факторы, связанные с противодействием, активируются с запозданием по времени, т. е. когда деструктивные процессы уже проникли в социум.

Как видно из полученных результатов (см. рис. 6), к эффективности данного управленческого решения можно относиться скептически, так как анализ сценария в по-событийной форме (рис. 7) показывает, что успех достигается лишь в краткосрочном периоде.

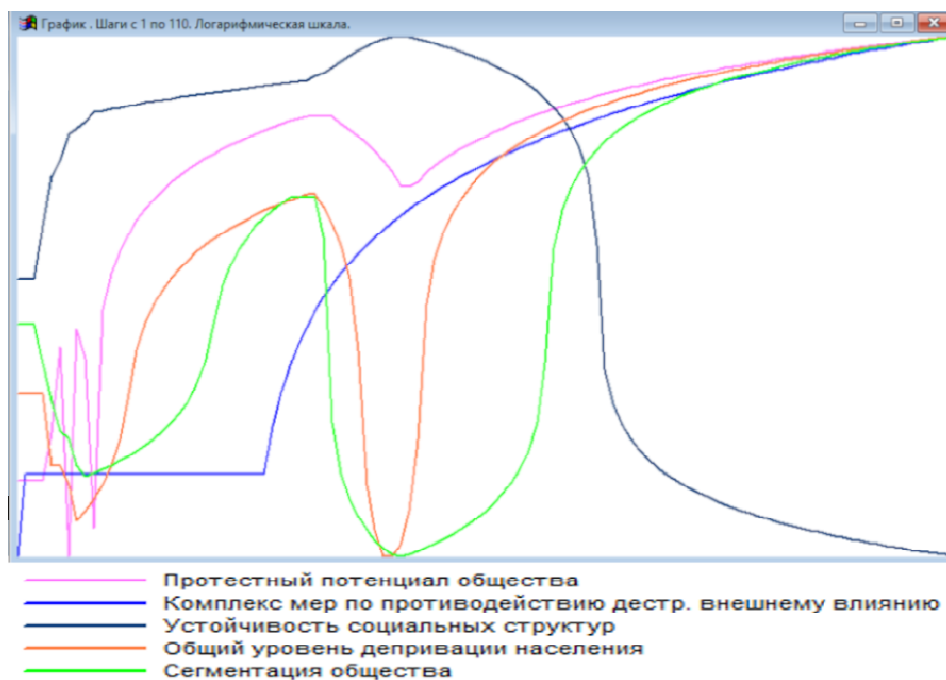


Рис. 6. Сценарий противодействия с задержкой
Fig. 6. Scenario of counteraction with delay

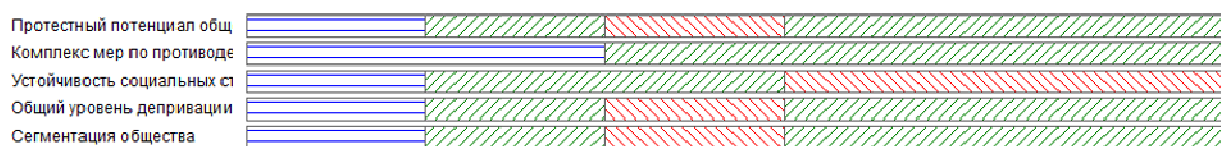


Рис. 7. Событийная динамика поведения факторов третьего сценария
Fig. 7. Event dynamics of factors in the third scenario

Полученный при моделировании сценарий состоит из нескольких последовательных событий, описания которых в форме э-сценария представлены в табл. 2.

События сценария

Таблица 2

Scenario Events

Table 2

№ события	Шаги моделирования		Динамика факторов	Изменения, инициирующие события
1	1	20	Не определены типы динамики факторов	
2	21	40	«ПРОТЕСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБЩЕСТВА» – РАСТЁТ. «Комплекс мер по противодействию деструктивному внешнему влиянию» – постоянно. «УСТОЙЧИВОСТЬ СОЦИАЛЬНЫХ СТРУКТУР» – РАСТЕТ. «ОБЩИЙ УРОВЕНЬ ДЕПРИВАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ» – РАСТЁТ. «СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЩЕСТВА» – РАСТЁТ. «Протестный потенциал общества» – растёт.	«Протестный потенциал общества» – растёт. «Устойчивость социальных структур» – растёт. «Общий уровень депривации населения» – растёт. «Сегментация общества» – растёт. «Протестный потенциал общества» – растёт. «Устойчивость социальных структур» – растёт.

Окончание табл. 2
Table 2 (end)

№ события	Шаги моделирования		Динамика факторов	Изменения, инициирующие события
			<p>«Меры противодействия деструктивному иностранному влиянию» – постоянно.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – растёт.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – растёт.</p> <p>«Сегментация общества» – растёт.</p>	<p>«Общий уровень депривации населения» – растёт.</p> <p>«Сегментация общества» – растёт</p>
3	41	60	<p>«ПРОТЕСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБЩЕСТВА» – УМЕНЬШАЕТСЯ.</p> <p>«КОМПЛЕКС МЕР ПО ПРОТИВОДЕЙСТВИЮ ДЕСТРУКТИВНОМУ ВНЕШНЕМУ ВЛИЯНИЮ» – РАСТЁТ.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – растёт.</p> <p>«ОБЩИЙ УРОВЕНЬ ДЕПРИВАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ» – УМЕНЬШАЕТСЯ.</p> <p>«СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЩЕСТВА» – УМЕНЬШАЕТСЯ.</p> <p>«Протестный потенциал общества» – падает.</p> <p>«Меры противодействия деструктивному иностранному влиянию» – растёт.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – растёт.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – падает.</p> <p>«Сегментация общества» – падает</p>	<p>«Протестный потенциал общества» – падает.</p> <p>«Комплекс мер по противодействию деструктивному внешнему влиянию» – растёт.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – падает.</p> <p>«Сегментация общества» – падает.</p> <p>«Протестный потенциал общества» – падает.</p> <p>«Меры противодействия деструктивному иностранному влиянию» – растёт.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – падает.</p> <p>«Сегментация общества» – падает</p>
4	61	110	<p>«ПРОТЕСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБЩЕСТВА» – РАСТЁТ.</p> <p>«Комплекс мер по противодействию деструктивному внешнему влиянию» – растёт.</p> <p>«УСТОЙЧИВОСТЬ СОЦИАЛЬНЫХ СТРУКТУР» – УМЕНЬШАЕТСЯ.</p> <p>«ОБЩИЙ УРОВЕНЬ ДЕПРИВАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ» – РАСТЁТ.</p> <p>«СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЩЕСТВА» – РАСТЁТ.</p> <p>«Протестный потенциал общества» – растёт.</p> <p>«Меры противодействия деструктивному иностранному влиянию» – растёт.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – падает.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – растёт.</p> <p>«Сегментация общества» – растёт</p>	<p>«Протестный потенциал общества» – растёт.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – падает.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – растёт.</p> <p>«Сегментация общества» – растёт.</p> <p>«Протестный потенциал общества» – растёт.</p> <p>«Устойчивость социальных структур» – падает.</p> <p>«Общий уровень депривации населения» – растёт.</p> <p>«Сегментация общества» – растёт</p>

Анализ результатов моделирования показал, что в целом сценарий отрицательный. Запоздавшая реакция при принятии мер противодействия деструктивным процессам вызвала в полученном сценарии лишь одно кратковременное (на протяжении 20 шагов моделирования) положительное событие (событие № 3 в табл. 2), связанное с активацией мер противодействия. Однако накопленные деструктивные тенденции переломили сценарий и следующее событие (событие № 4 в табл. 2) резко негативное, причем других событий в сценарии не появляется, и моделируемая система входит в финальное состояние.

2.4. Сценарий – «Упреждающее кратковременное противодействие»

Следующий сценарий описывает состояние факторов, при котором факторы внутреннего управления социальной стабильностью активизировались заблаговременно, тем не менее в связи с непостоянным воздействием, выраженным в отсутствии поддержки управленческих решений на всем временном интервале моделирования, добиться положительных результатов не удалось (рис. 8).

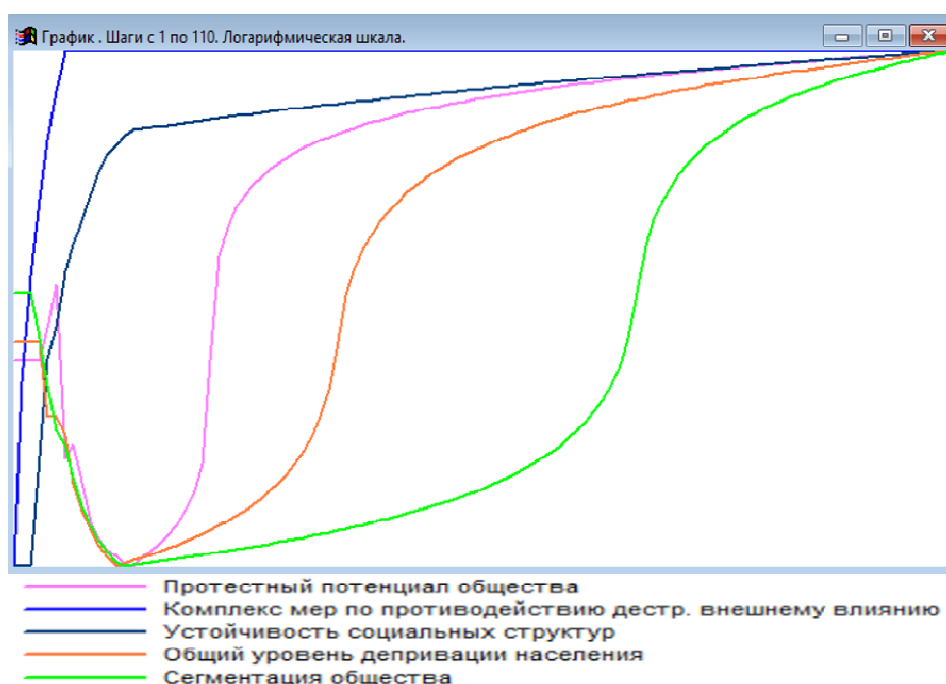


Рис. 8. Сценарий упреждающего краткосрочного противодействия
Fig. 8. Scenario of proactive short-term counteraction

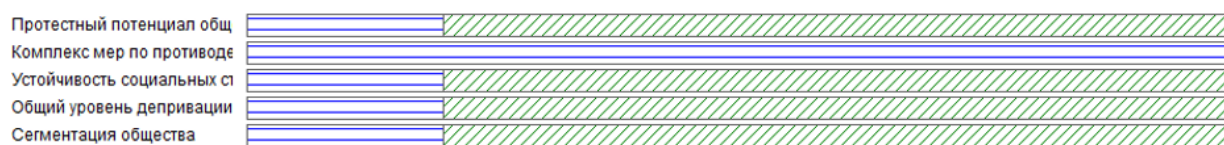


Рис. 9. Событийная динамика поведения факторов
Fig. 9. Event dynamics of factor behavior

В полученном сценарии (рис. 9) единственное рассчитанное событие (событие № 2) оказывается в целом положительным, и оно соответствует финальному состоянию моделируемой системы. Однако в отличие от положительных тенденций сценария 2 здесь наблюдается рост сегментации общества, что в дальнейшем и при новых условиях способно стать угрозой социальной стабильности.

Заключение

Представленная в работе технология сценарного моделирования реализована в соответствующем программно-аналитическом комплексе [15], целью разработки которого является автоматизация процессов сценарного исследования социально-экономических и политических систем.

Практическая апробация предложенного подхода к расширению моделирующих возможностей, а именно сценарной идентификации поведения факторов модели, показала высокую эффективность в процессе сценарного исследования сложных моделей социально-экономических систем. Применение предложенного подхода и алгоритма сценарно-событийной идентификации позволяет реализовывать механизм событийных функциональных взаимосвязей между факторами модели, в частности многослойного (в том числе – иерархического) представления структуры мультимодели, что обеспечивает возможность эффективного применения знаний экспертов в различных предметных областях на стадиях разработки и исследования процессов развития социально-экономических и политических систем [13].

Программная реализация разработанного алгоритма позволила повысить качество визуализации результатов моделирования за счет возможности представления текста сценария в терминах предметной области. Кроме того, появилась возможность передачи текущих аналитических данных моделирования в режиме реального времени в сторонние программные комплексы [13] в рамках комплексной системы поддержки принятия решений.

Приведенные в качестве примера модель и сценарии являются репрезентативными и показательными в контексте использования сценарного анализа для исследования сложных систем. Результаты исследования показали, что наиболее эффективным является сценарий, при котором превентивные меры оказали наибольший положительный результат на целевой фактор модели. Приведенные в работе примеры показали высокую значимость сценарного анализа и прогнозирования при управлении сложными системами

Список литературы

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. 584 с.
2. Loginovskiy O.V., Dranko O.I., Hollay A.V. Mathematical Models for Decision-Making on Strategic Management of Industrial Enterprise in Conditions of Instability // CEUR Workshop Proceedings. Leipzig, 2018. Vol. 2093. P. 1–12.
3. Эффективное управление организационными и производственными структурами: моногр. / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко и др.; под ред. О.В. Логиновского. М.: Инфра-М, 2020. 456 с.
4. Enaleev A., Novikov D. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility // IFAC-PapersOnLine. 2021. Vol. 54 (13). P. 13–18. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.410
5. Novikov D.A. Bounded Rationality and Control // Automation and Remote Control. 2022. Vol. 83, no. 6. P. 990–1009. DOI: 10.1134/S0005117922060145
6. Kulba V., Somov S. Placing replicas of data arrays in dynamic distributed systems // 2021 14th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). Moscow, Russian Federation, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/MLSD52249.2021.9600197
7. Шульц В.Л., Кульба В.В., Шелков А.Б. Методы сценарного планирования в организационном управлении // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXXI международной конференции. Москва, 2023. С. 32–41. DOI: 10.25728/iccss.2023.67.22.003
8. Сценарный анализ в управлении геополитическим и информационным противоборством / В.Л. Шульц, В.В. Кульба, А.Б. Шелков, И.В. Чернов; Центр исслед. проблем безопасности РАН. М.: Наука, 2015. 542 с.
9. Теория и практика имитационного моделирования при управлении: учеб. пособие / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов и др. Воронеж, 2009. 372 с.
10. Методы и способы сценарного управления инвестиционно-строительными комплексами регионов России: моногр. / Н.В. Агафонкина, С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, И.С. Суровцев. Воронеж: Научная книга, 2014. 424 с.
11. Управление развитием региона. Моделирование возможностей / О.И. Дранко, Д.А. Новиков, А.Н. Райков, И.В. Чернов. М.: URSS; ООО «ЛЕНАНД», 2023. 432 с.
12. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем: в 2 кн. / В.Л. Шульц, В.В. Кульба, Д.А. Кононов и др. М.: Наука, 2012. Кн. 1. 304 с.
13. Чернов И.В. Сценарно-когнитивное моделирование сложных систем на основе событийной идентификации динамики факторов // Проблемы управления. 2023. № 3. С. 65–76.

14. Jeffrey M. Wooldridge, *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Publisher South Western, Cengage Learning; 2019.

15. Чернов И.В. Повышение эффективности управленческих решений на основе использования программно-аналитического комплекса сценарного анализа и прогнозирования // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2018. № 1 (11). С. 40–57. DOI: 10.28995/2073-6304-2018-1-40-57

References

1. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of management of organizational systems]. Moscow: Psychological and Social Institute; 2005. 584 p. (In Russ.)

2. Loginovskiy O.V., Dranko O.I., Hollay A.V. Mathematical Models for Decision-Making on Strategic Management of Industrial Enterprise in Conditions of Instability. In: *CEUR Workshop Proceedings*. Leipzig; 2018. Vol. 2093. P. 1–12.

3. Loginovskiy O.V., Gollai A.V., Dranko O.I., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. *Effektivnoe upravlenie organizatsionnymi i proizvodstvennymi strukturami: monografiya* [Effective management of organizational and production structures: monograph]. Moscow: Infra-M; 2020. 456 p. (In Russ.)

4. Enaleev A., Novikov D. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility. *IFAC-PapersOnLine*. 2021;54(13):13–18. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.410

5. Novikov D.A. Bounded Rationality and Control. *Automation and Remote Control*. 2022;83(6):990–1009. DOI: 10.1134/S0005117922060145

6. Kulba V., Somov S. Placing replicas of data arrays in dynamic distributed systems. In: *2021 14th International Conference Management of large-scale system development (MLSD)*. Moscow, Russian Federation, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/MLSD52249.2021.9600197

7. Shultz V.L., Kulba V.V., Shelkov A.B. [Methods of scenario planning in organizational management]. In: *Problems of Security Management of Complex Systems. Materials of the XXXI International Conference*. Moscow; 2023. P. 32–41. (In Russ.) DOI: 10.25728/icss.2023.67.22.003

8. Shultz V.L., Kulba V.V., Shelkov A.B., Chernov I.V. *Stsenarnyy analiz v upravlenii geopoliticheskimi i informatsionnymi protivoborstvom* [Scenario analysis in the management of geopolitical and information warfare]. Moscow: Nauka; 2015. 542 p. (In Russ.)

9. Barkalov S.A., Belousov V.E. et al. *Teoriya i praktika imitatsionnogo modelirovaniya pri upravlenii: uchebnoe posobie* [Theory and practice of simulation modeling in management. Textbook]. Voronezh; 2009. 372 p. (In Russ.)

10. Agafonkina N.V., Barkalov S.A., Belousov V.E., Surovtsev I.S. *Metody i sposoby stsenarnogo upravleniya investitsionno-stroitel'nymi kompleksami regionov Rossii: monografiya* [Methods and methods for scenario management of investment and construction complexes in Russian regions. Monograph]. Voronezh: Nauchnaya kniga; 2014. 424 p. (In Russ.)

11. Dranko O.I., Novikov D.A., Raykov A.N., Chernov I.V. *Upravlenie razvitiem regiona. Modelirovanie vozmozhnostey* [Regional development management. Possibility modeling]. Moscow: URSS, LENAND LLC; 2023. 432 p. (In Russ.)

12. Shultz V.L., Kulba V.V., Kononov D.A., Kosyachenko S.A., Shelkov A.B., Chernov I.V. *Modeli i metody analiza i sinteza stsenariyev razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: v 2 kn.* [Models and methods of analysis and synthesis of scenarios for the development of socio-economic systems: in 2 books]. Moscow: Nauka; 2012. Book 1. 304 p. (In Russ.)

13. Chernov, I.V., Scenario-Cognitive Modeling of Complex Systems Based on Event-Driven Identification of Factor Dynamics. *Control Sciences*. 2023;(3):55–64. DOI: 10.25728/cs.2023.3.5

14. Jeffrey M. Wooldridge, *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Publisher South Western, Cengage Learning; 2019.

15. Chernov I.V. Increase of the administrative decisions efficiency by using the software-analytical complex of scenario analysis and forecasting. *RSUH / RGGU bulletin. Series: Economics. Management. Law*. 2018;1(11):40–57. (In Russ.)

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; bsa610@yandex.ru.

Чернов Игорь Викторович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Лаборатория 20, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия; chernov@ipu.ru.

Фейзов Вадим Рустамович, младший научный сотрудник, Лаборатория 20, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия; vadimus150@gmail.com.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; bsa610@yandex.ru.

Igor V. Chernov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Laboratory 20, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; chernov@ipu.ru.

Vadim R. Feyzov, Junior Researcher, Laboratory 20, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; vadimus150@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 14.04.2024

The article was submitted 14.04.2024