

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Матвеев, кандидат технических наук;

А.В. Максимов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматривается практическая возможность и целесообразность применения дескриптивных и нормативных моделей для исследования вопросов безопасности социально-экономических систем. Предложен теоретический подход к разработке моделей данных классов на вербальном уровне и в форме теоретико-множественных соотношений. Обосновывается необходимость использования данных моделей для синтеза управляющих воздействий в интересах обеспечения безопасности социально-экономических систем.

Ключевые слова: социально-экономическая система, безопасность, моделирование, дескриптивная модель, нормативная модель, формализация, живучесть, угрозы

THEORETICAL BASES OF MODELLING OF SAFETY OF SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

A.V. Matveev; A.V. Maksimov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article examines the feasibility and usefulness of the descriptive and normative models for the study of security issues of social and economic systems. The theoretical approach to modeling these classes on the verbal level and in the form of set-theoretic relations. The necessity of the use of these models for the synthesis of control actions in the interests of security of social and economic systems.

Keywords: social and economic systems, safety, modelling, descriptive model, normative model, formalization, survivability, threatening

В последние годы в научных кругах уделяется повышенное внимание безопасности региональных и производственных социально-экономических систем (СЭС). Под социально-экономической системой понимается совокупность организованных коллективов людей, отдельных лиц, населения, объектов экономики и инфраструктуры, а также природно-территориальных комплексов и экосистем, образующих единое структурно-функциональное целое.

Имеется в виду, что СЭС со своими пространственными и другими параметрами соответствуют административно-хозяйственным образованиям государства. Они могут быть

различного уровня иерархии: от федерального и регионального уровня до местного и объектового.

В настоящее время под влиянием складывающейся, в том числе в нашей стране, техногенной и экологической обстановки и возможных угроз и опасностей, грозящих СЭС в случае возникновения и развития военных конфликтов, в деятельности многих государственных и иных структур, в контексте обеспечения национальной безопасности страны, все большая озабоченность проявляется в вопросе обеспечении безопасности СЭС всех уровней иерархии при воздействиях техногенного, военного, экологического и экономического характера [1–4].

В соответствии с общепринятой в системной теории классификации, они могут быть отнесены к сложным системам с иерархической, в большинстве случаев ветвистой, структурой, обладающим определенной гибкостью и адаптивностью [5].

Адекватность комплекса мероприятий по обеспечению безопасности СЭС основана на познании и осознании окружающей нас действительности. Системы обеспечения общественной, государственной, природной, техногенной экономической и прочих безопасностей в большинстве своем являются уникальными, дорогостоящими объектами, экспериментальная отработка которых по понятным причинам весьма затруднительна, а некоторых объектов и невозможна в принципе [6]. Принятие любого решения на этапах их разработки, экспериментальной отработки и применения требует предварительного проведения моделирования процессов функционирования таких систем.

В этой связи представляется возможным рекомендовать такие области предпочтительного использования моделей, принадлежащих каждому из следующих трех основных классов:

– дескриптивные (описательные) модели – для словесной или формализованной интерпретации смысла и объекта безопасности социально-экономических систем, его конкретных компонентов и интересующих процессов в них;

– нормативные – для уточнения и ранжирования целей, ценностей или потребностей упомянутых объектов, а также обоснования оптимальных параметров и соответствующих режимов функционирования;

– ситуационные – для исследования явлений и процессов, оказывающих наиболее существенное влияние на обеспечение и нарушение жизнестойкости СЭС, причинение ущерба.

Данную рекомендацию не следует считать безальтернативной, поскольку изложенные формальные модели и методы исследования могут применяться и в различных сочетаниях. Более того, лишь комплексное их использование будет способствовать не только лучшей сравнимости полученных при моделировании результатов (а значит и взаимной проверке адекватности применяемых моделей), но и росту достоверности основанных на них рекомендаций.

В данной статье рассматривается практическая возможность и целесообразность применения первых двух классов моделей.

Дескриптивные модели и методы

По своему предназначению дескриптивные модели и методы исследования безопасности СЭС лучше всего приспособлены для обоснования ответа на группу примерно таких вопросов: Что такое безопасность? Что является ее объектом и предметом? Как возникают и протекают процессы и явления, влияющие на безопасность СЭС? или Как они могут развиваться в перспективе?

К основным функциям данных моделей и методов можно отнести следующие:

– описание людей как производителей и потребителей всевозможных благ, а государств, их различных инфраструктур и общественных организаций (СЭС различного

уровня иерархии) – как механизмов, необходимых для наиболее полного удовлетворения соответствующих потребностей;

– уточнение структуры каждого такого объекта и его предназначения, выявление наиболее существенных противоречий и тенденций развития разных объектов;

– уяснение их места и роли в регулировании отношений между всеми людьми и созданными ими институтами.

Большое число подсистем и элементов социально-экономической системы, их свойств и параметров ограничивает возможность использования строгих математических моделей для адекватного описания безопасности. Эта же особенность ее объекта, а также трудность в проведении четкой границы между ним и окружающей средой существенно затрудняет построение подобных моделей. Проиллюстрируем это на примере построения дескриптивной модели поддержания жизнестойкости какой-либо социально-экономической системы, которую представим вначале на вербальном уровне, а затем в форме теоретико-множественных соотношений.

Демонстрацию первого (словесного) уровня моделирования начнем с описания условий, обеспечивающих функционирование выбранного объекта. Для СЭС это означает, прежде всего, длительное сохранение безопасности, то есть поддержание такого способа существования образующих ее людей, при котором удовлетворяются все жизненно важные их потребности, а подстерегающие опасности, угрозы и вызовы – своевременно парируются.

Важное место при этом уделяется не только защите и уклонению, но и заблаговременному приспособлению территории страны путем обустройства ее разными инфраструктурами, предназначенными для более полного и качественного удовлетворения упомянутых выше потребностей.

Что касается инфраструктур, то все они могут быть поделены на два больших класса: материальные (техносфера) и нематериальные (духовная и общественная жизнь). Перечисленные инфраструктуры играют важную роль в поддержании безопасности, а любая из них сама является большой и сложной системой, то при составлении дескриптивной модели полезно воспользоваться универсальной классификацией содержимого инфраструктуры.

Следующим (после идентификации и классификации факторов) этапом построения рассматриваемой здесь модели может быть описание условий утраты СЭС своей безопасности. При их выявлении необходимо учитывать возможность потери ею безопасности как по причине несвоевременного парирования опасных для нее вызовов или угроз, так и вследствие разрушения либо снижения надежности отдельных инфраструктур или критически важных для них подсистем или элементов. Под критичностью здесь подразумевается степень влияния вызова (угрозы) либо отказа подсистемы (элемента) на живучесть соответствующей системы, оцениваемая величиной снижения показателей надежности или безопасности ее функционирования.

К примеру, среди техносферных причин понижения уровня безопасности СЭС можно выделить их следующие основные группы: произвольные ошибки и умышленные несанкционированные действия – эргатические факторы; отказы и поломки по естественным причинам или вследствие саботажа – технические факторы; нерасчетные (неожиданные либо превышающие допустимые значения) воздействия на людей и технику – энвайронментальные факторы.

На этом ограничимся в иллюстрации возможности представления дескриптивных моделей на словесном уровне и укажем на их ожидаемую конструктивность. Интерпретация объекта безопасности социально-экономической системы совместно с продемонстрированным выше словесным описанием процесса поддержания безопасности подтверждают принципиальную возможность решения в последующем ряда практически важных задач. К их числу можно отнести:

– обобщенное представление СЭС и обеспечивающих ее инфраструктур совокупностями перечисленных выше компонентов, подсистем и элементов;

- их объединение с целью образования какой-либо интегрированной и функционально целостной системы повышенной безопасности;
- последующая формализация процесса ее успешного и аварийного функционирования как управляемой динамической системы.

Продолжим иллюстрацию возможностей дескриптивных моделей путем перехода к более формализованному уровню описания только что рассмотренной вербальной модели. Сделаем это в предположении об известности некоторого минимального числа интегральных количественных показателей и вектора возможных состояний $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ интегрированной системы повышенной живучести. Цель данного этапа дескриптивного моделирования будет состоять в формулировании общей математической постановки и обосновании наиболее подходящего способа решения последней (третьей из обозначенных выше) задачи регулирования функционирования системы.

С учетом изложенного, задание на разработку дескриптивной модели поддержания безопасности системы с помощью обеспечивающих это инфраструктур может быть сформулировано следующим образом: «В известном пространстве состояний S определить управляющие воздействия, необходимые для перемещения этой интегрированной системы по некоторой траектории». В соответствии с рекомендациями теоретико-множественного подхода, математическая постановка этой задачи будет иметь вид оператора C , представляющего собой декартово произведение нескольких векторов:

$$C : T \times S_0 \times F \Rightarrow S,$$

где T – множество моментов времени (вещественных чисел); $F = F^{ex} \times F^{in}$ – множество воздействий (внешних и внутренних факторов), влияющих на рассматриваемую здесь интегрированную систему); S_0 – множество начальных состояний данной системы.

Кроме того, этот же оператор может быть также представлен и тетрадой $\{T, \Sigma_S, \Sigma_C, \Sigma_P\}$, включающей в себя такие составные части, как Σ_S – множество структур интегрированной системы, Σ_C – совокупность операторов ее компонентов и элементов, Σ_P – множество их параметров.

Что касается природы учтенных моделью векторных характеристик, то они, как правило, обусловлены следующими факторами. Внешние воздействия F^{ex} , к которым следует относить и начальные условия S_0 , обычно связаны с взаимодействием между конкретной социально-экономической системой и внешней для нее средой. Если система искусственно замкнута, в их число входят ошибки, связанные с такой упрощенной формализацией и невозможностью точного априорного описания ее будущего поведения.

Внутренние воздействия F^{in} могут быть обусловлены трансформацией связей между отдельными компонентами социально-экономической системы и обеспечивающими ее инфраструктурами, а также вариацией их многочисленных параметров P , включая наиболее существенные. Появившиеся при этом структурные и параметрические возмущения могут быть настолько сильными, что могут даже изменять размерность пространства S .

Последнее означает, что траектория движения интегрированной системы может быть не обязательно гладкой (эволюционной), но и иметь «революционные» разрывы. Причем предвидеть последние практически невозможно из-за их многоальтернативности и малой предсказуемости. Ведь появление таких разрывов во многом определяется не только характером окружающей среды с трудно прогнозируемым изменением ее параметров, но и теми свойствами самой этой системы, от которых зависит ее реакция на подобные внешние возмущения.

При этом вариацию во времени векторов $\Sigma_S(t)$, $\Sigma_C(t)$ и $\Sigma_P(t)$ можно считать как бы самодвижением образованной выше системы повышенной безопасности и называть развитием, хотя информационной характеристикой ее динамики для внешнего наблюдателя может являться только траектория $\Sigma_S(t) \in S$. Данное обстоятельство связано с тем, что изучение этой траектории в выбранном выше фазовом пространстве $(\Sigma_S) \times (\Sigma_C) \times (\Sigma_P)$ не дает прямых сведений о степени продвижения исследуемой социально-экономической системы к обозначенной для нее в этом пространстве цели S_G .

Однако и сама возможность введения конкретной цели S_G в процесс функционирования рассматриваемой здесь системы представляет собой далеко не тривиальную задачу, поскольку ее решение сопряжено с необходимостью определиться с множеством достижимых состояний реального пространства и руководствоваться набором общих ценностей при выборе одного из них. Более того, поскольку решение данной задачи многовариантно, то требуется показатель качества ее выполнения, способный служить критерием J оценки совершенства управления безопасностью данной системы.

Наконец, важным для оценки функционирования любой подобной системы является располагаемый ею ресурс I , который иногда сводят к ограничению или включают в состав оптимизируемого критерия J . Если же учесть еще многообразие допустимых управляющих воздействий U и множество сопутствующих их разработке и реализации ошибок $E = E^{ex} \times E^{in}$, то дескриптивную модель управляемого функционирования социально-экономической системы, обеспечиваемого интегрированными в нее инфраструктурами, в выбранном фазовом пространстве можно записать в следующем виде:

$$C^U : T \times S_0 \times F \times J \times I \times U \times E \Rightarrow S_G \quad . \quad (1)$$

Анализ полученной дескриптивной модели управляемого поддержания жизнестойкости СЭС свидетельствует о громоздкости математического выражения (1) даже без учета возмущений, обусловленных ошибками измерения состояний рассматриваемой системы в конкретном фазовом пространстве и неполным учетом ее взаимодействия с внешней средой вследствие искусственного замыкания соответствующей динамической модели.

Нетрудно также вообразить неизмеримо возросшую сложность той аналитической зависимости, которая может быть впоследствии получена из общей записи (1) после раскрытия содержимого входящих в нее векторных характеристик, поскольку число учитываемых при этом параметров может оцениваться уже сотнями.

Данное обстоятельство заметно затрудняет использование моделей подобной степени общности для системного анализа исследуемого процесса, например, с целью оперативного количественного прогноза интегральных характеристик данной системы. Однако они все же пригодны для получения некоторых выводов или предложений как качественного, так и количественного характера. Проиллюстрируем последнее путем обоснования трех соответствующих рекомендаций, логично вытекающих из только что рассмотренной дескриптивной модели.

Первая из них связана с возможностью классификации опасных факторов. Например, из выражения (1) видно, что на условие достижения конкретной цели влияют как внутренние, так и внешние причины, которые могут рассматриваться в виде соответствующих угроз безопасности СЭС. При этом к числу внутренних вызовов можно отнести, прежде всего, неожиданную самореструктуризацию этой системы, приводящую к непредсказуемым последствиям, а к внешним угрозам – те неблагоприятные воздействия окружающей среды, которые она не в состоянии своевременно парировать вследствие некачественного самоуправления.

Вторая рекомендация вытекает из анализируемой здесь дескриптивной модели. В частности, из последнего математического соотношения видно, что успешное для безопасности развитие, то есть движение социально-экономической системы в направлении к выбранной цели, требует таких моделей и алгоритмов управления Σ_U , которые способны привести к ней с учетом располагаемых ресурсов I и ограничений на параметры функционирования. А это, в свою очередь, требует от системы соответствующей управляемости, наблюдаемости и идентифицируемости.

Наконец, третья из рекомендаций связана с целесообразностью использования дескриптивных моделей в качестве основы для нормативных и ситуационных. Ведь лишь их совместное применение способно в полной мере подтвердить конструктивность и плодотворность моделирования, как одного из самых эффективных инструментариев обеспечения и совершенствования безопасности социально-экономической системы. В самом деле, использование всех моделей этого типа позволяет решить еще три задачи:

- системный анализ важных для безопасности СЭС элементов, подсистем и процессов с целью оценки значимости их индивидуального вклада в ее обеспечение или подрыв;
- системный синтез мероприятий по повышению защищенности наиболее критичных элементов СЭС и обеспечивающих их жизнестойкость компонентов инфраструктуры;
- компьютеризация перечисленных задач и создание на этой основе автоматизированных технологий и систем поддержки решений по совершенствованию исследования и обеспечения безопасности СЭС.

Завершая демонстрацию конструктивности математической модели в общей постановке, обратим внимание на невозможность раскрытия таких векторных операторов «напрямую», то есть без предварительного создания смысловых эквивалентов их параметров и последующего отображения их содержимого на бумаге или экране компьютера. Вот почему в качестве рабочих дескриптивных моделей для рассматриваемой предметной области наиболее предпочтительны более частные вербальные (словесные), графические модели, а также те средства их представления, которые более приспособлены для последующей разработки, например аналитических моделей и основанных на них имитационных алгоритмов или экспертных систем.

Среди так называемых «машинных» методов исследования безопасности социально-экономических систем наиболее перспективным может оказаться логико-лингвистическое моделирование. Оно основано на использовании соответствующих имитационных моделей, связанных с логической и математической обработкой тех данных, которые представлены в словесной форме, то есть являются лингвистическими переменными [7].

При этом параметры таких переменных могут не только измеряться различными единицами, но и иметь всевозможную нечетко определенную природу. Дело в том, что для их измерения применяются универсальные лингвистические шкалы качества, количества, периодичности и достоверности, имеющие многоступенчатую градацию от «очень, очень низко» до «очень, очень высоко».

Нормативные модели и методы

В отличие от дескриптивных моделей и методов исследования безопасности социально-экономических систем, нормативные должны быть направлены на поиск ответа на вопросы не о том, как есть или будет, а о том, как должно быть. Иначе говоря, основная функция нормативных моделей состоит не столько в отражении действительности, сколько в определении желательной стратегии поведения. Вот почему они обычно используются для обоснования рациональных структур, определения предпочтительных состояний и оптимальных параметров как исследуемой социально-экономической системы, так и обеспечивающих ее безопасность инфраструктур.

Однако главное предназначение предлагаемых нормативных моделей и методов – предначертание благоприятных условий и оптимальных траекторий развития СЭС, определение соответствующего вектора целей, обоснование приемлемой иерархии ценностей, а также прогноз необходимости и возможности коррекции интересов

и потребностей людей с учетом тенденций и противоречий, выявленных помощью рассмотренных выше дескриптивных моделей.

Достаточно результативной может быть интерпретация нормативных моделей, например, в виде графа целей государства, дерева ценностей народа, человека и схем функциональной целостности используемых ими инфраструктур.

Поясним кратко подобную возможность на примере дальнейшего развития рассмотренной выше дескриптивной модели – в части нормирования условий достижения описываемой там социально-экономической системы какой-либо цели, принадлежащей области желаемых состояний. При этом как и ранее речь будет идти об обеспечении безопасности, то есть о непрерывном сохранении данной системой жизнестойкости благодаря инфраструктурам, постоянно удерживающим ее в области своих безопасных состояний $S(I, C, U) \rightarrow J \in S_G$.

Если данная область определена и согласована, то следующей задачей будет создание и использование такой нормативной модели, например оператора C , который способен вырабатывать и реализовывать те управляющие воздействия, которые были бы способны привести соответствующую интегрированную систему в некоторую область S_s и удерживать ее там постоянно.

В предположении о возможности деления всех влияющих на это факторов на внешние F^{ex} и внутренние F^{in} может быть дана формализованная постановка задачи на разработку рассматриваемой здесь нормативной модели. Например, сформировать векторный оператор C^{-1} пересчета подпространства состояний Σ_S в пространство управляющих воздействий Σ_U , порожденных как внешней для социально-экономической системы средой – F_S^{ex} , так и внутренними для нее (инфраструктурными) факторами – F_S^{in} :

$$C^{-1} : T \times \Sigma_S^F \Rightarrow \Sigma_U = \{U_{ex}, U_{in}\} \quad (2)$$

где T – множество моментов времени из рассматриваемого интервала; $\Sigma_S^F \Leftrightarrow \{F_S^{ex} \in F^{ex}, F_S^{in} \in F^{in}\}$ – подпространство состояний и его факторы.

Однако решение задачи в такой постановке представляется затруднительным, поскольку на основе выходных реакций социально-экономической системы практически невозможно выделить причинную обусловленность ее динамики и идентифицировать входные воздействия, то есть установить вклад каждого подобного возмущения в занимаемое этой системой положение в пространстве S_S^F . Поэтому вместо процедуры общего инвертирования (2) с целью получения оператора C^{-1} целесообразно по отдельности строить области безопасных состояний рассматриваемой системы для всех внешних U_{ex} и внутренних U_{in} для нее входных воздействий. Это означает, что представленная выше модель нормативного управления должна принять следующий вид:

$$\begin{cases} C_{ex}^{-1} : TS_S^{F_{ex}} \Rightarrow U_{ex} \\ C_{in}^{-1} : TS_S^{F_{in}} \Rightarrow U_{in} \end{cases} \quad (3)$$

Приведенные математические соотношения нужно интерпретировать как синтез такого управления развитием социально-экономической системы, которое обеспечивает ее самосохраняемость благодаря парированию возмущений, препятствующих достижению и нахождению этой системы в области безопасных состояний. Естественно, что для практического использования теоретико-множественной формы (3) необходимо ее раскрыть, то есть представить в явном виде все входящие туда векторы и операторы.

Очевидно, что столь общая нормативная модель не позволяет продемонстрировать это для любой универсальной СЭС по причине дефицита информации и громоздкости соответствующих преобразований.

Принципиальная же возможность нахождения явных аналитических выражений некоторых из входящих в модель (3) параметров может быть продемонстрирована для частных, более простых случаев. Однако данные вопросы, также как и проблематика разработки ситуационных моделей и методов, оставлены вне рамок данной статьи и рассматриваются отдельно.

В целом рассмотренный теоретический подход к разработке моделей безопасности СЭС действительно пригоден для системного (качественного и количественного) анализа интересующих исследователя процессов. Более того, данные модели необходимы и для системного синтеза управляющих воздействий в тех случаях, когда оцененный уровень надежности, живучести или безопасности конкретных компонентов социально-экономической системы не удовлетворяет требуемому.

Литература

1. Воробьев Ю.Л. Национальная безопасность и управление стратегическими рисками в России // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3. № 2. С. 95–104.
2. Матвеев А.В., Матвеев В.В. Концептуальные основы обеспечения национальной безопасности России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2014. № 1 (5). СПб.: Стратегия будущего. С. 3–20.
3. Арбатов А.Г. Национальная безопасность России в многополярном мире // Вестник РАН. 2000. № 11. С. 984–993.
4. Бетлер А. Национальные интересы, национальная безопасность и международная стабильность // Политические исследования. 2002. № 3. С. 146–158.
5. Матвеев А.В. Оптимальное управление ресурсами в интересах обеспечения безопасности социально-экономических систем: материалы IX съезда Петровской акад. наук и искусств «Социально-экономические проблемы современной России и пути их решения». СПб.: Северная звезда, 2014. С. 174–182.
6. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А. Исследование систем управления: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Академический проект; Трикста, 2004. 352 с.
7. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию решений. Новое в зарубежной науке и технике. М.: Мир, 1976. 196 с.