

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОТИВОБОРСТВА СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**В.М. Шишкин, К.Е. Колесников (Санкт-Петербург)**

Современный мир демонстрирует откровенную тенденцию к нарастанию конфликтности. Причём процессы противостояния, противоборства имеют разные масштабы, различную природу, происходят в разных сферах деятельности, они чаще комплексные, преимущественно социо-технического (техно-гуманитарного) характера, что усложняет их анализ. В то же время механизмы взаимодействия сторон конфликта, если их рассматривать в достаточно общих терминах и без излишней детализации, можно привести к однородной конструкции.

Разумеется, проблемы противоборства активно изучаются, обсуждаются, но чаще в силу сложности и слабой структурированности их анализ сводится к вербальным рассуждениям, не допускающим объективной оценки, когда на всякое обоснованное мнение найдётся другое не худшее и не менее обоснованное. Таким образом, есть потребность в применении формального аппарата, позволяющего если не доказать тот или иной вывод или обосновать рекомендацию, то, по крайней мере, согласовав базовые утверждения модели, объективно проверить результаты имитационных экспериментов на ней для различных сценариев и начальных условий.

Представленные ниже элементы исследования начинались из чисто академического интереса: нельзя ли формализовать вербальные рассуждения о взаимосвязи и взаимодействии развития информационно-коммуникационных технологий, социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности, иллюстрированные в виде процессной схемы в [1]. Эта схема, можно сказать, «напращивалась» на то, чтобы описать её системой дифференциальных уравнений.

Намерение было реализовано и оказалось довольно успешным: дифференциальная модель в вычислительных экспериментах показала правдоподобное поведение, хотя бы в том смысле, что соответствовала умозрительному представлению о взаимодействии процессов [2, 3]. В частности, было показано, что обеспечение безопасности и социально-экономического развития должно быть сбалансировано, а избыточное предпочтение тому или другому аспекту ведёт в динамике к снижению их уровня. Концептуально полученную модель можно отнести к классической традиции, заложенной, в частности, работами Н.Н. Моисеева [4], с использованием дифференциальных моделей исследовались также вопросы взаимодействия науки и национальной безопасности [5].

Далее логика развития исходной модели подтолкнула к разработке модели системы, работающей в условиях неблагоприятных внешних воздействий, без которых проблема безопасности почти не имеет смысла. При этом более интересным и актуальным показался вариант взаимодействия не с абстрактной внешней средой, а со структурно и функционально себе подобным противником, что привело к модели симметричного противоборства с управлением [6]. Ниже представлены некоторые результаты исследования возможностей управления в процессе противоборства сторон.

### **Структурная и математическая модели системы**

Таким образом, имеются две структурно и функционально подобные системы, представляемые симметричными модулями и, способными работать автономно, либо взаимодействовать в противостоянии друг другу. Независимо от целей функционирования они, как минимум, стремятся обеспечить возможность своего существования. Поведение и состояние систем описывается минимально необходимым, как было определено, набором

одинаковых показателей, которые в содержательной интерпретации могут не совпадать, что позволяет моделировать разнообразные ситуации с противоборством.

На рис. 1 показана схема, которая иллюстрирует математическую модель в наиболее универсальных терминах, как это нам представляется на настоящий момент, индексация переменных в модели соответствует нумерации блоков.

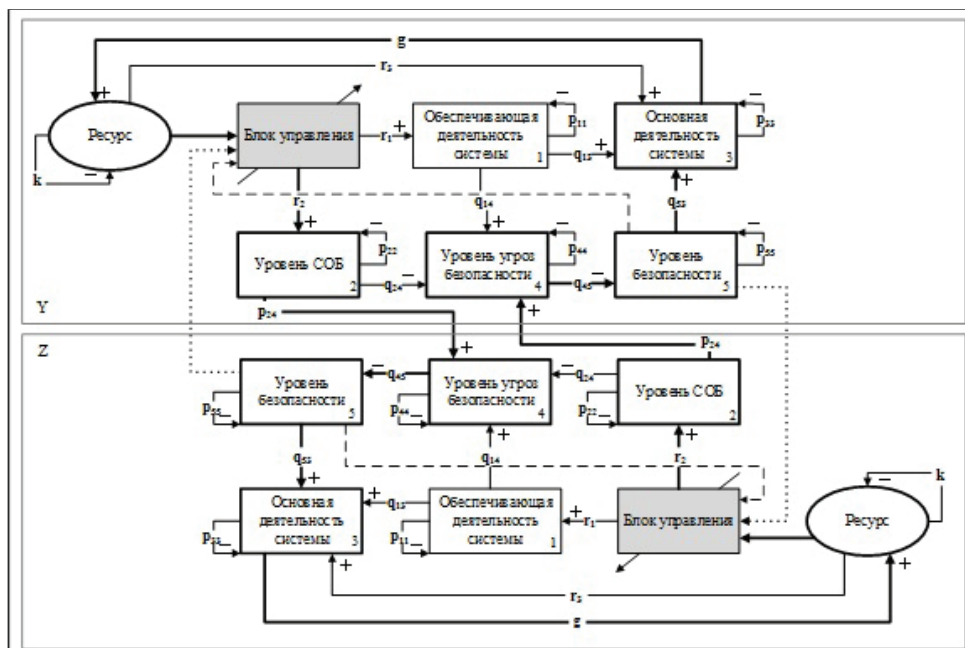


Рис. 1. Схема динамической модели противоборства

Сплошные линии на ней обозначают непосредственную зависимость элементов друг от друга, пунктирная и штриховая линии – каналы передачи информации об уровне безопасности, соответственно, противника и собственном, поступающую в блок управления для принятия решений. Буквенные обозначения и знаки на сплошных линиях – коэффициенты и направление их влияния на переменные.

В текущей версии модель представляет собой систему из двенадцати дифференциальных уравнений первого порядка, из которых два описывают динамику использования ресурсов ( $s$ ) противоборствующих сторон, именуемых  $Y$  и  $Z$ , а остальные десять (две группы по пять) – динамику фазовых переменных каждой стороны:

$$\begin{aligned}
 \dot{y} &= P_{(y)}^T y + Q_{(y)}^T \dot{y} + r_{(y)}^T s^{(y)} + P_{(z)}^T z \\
 \dot{z} &= P_{(z)}^T z + Q_{(z)}^T \dot{z} + r_{(z)}^T s^{(z)} + P_{(y)}^T y \\
 \dot{s}^{(y)} &= -k^{(y)} s^{(y)} + g^{(y)} y_3 \\
 \dot{s}^{(z)} &= -k^{(z)} s^{(z)} + g^{(z)} z_3
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Что касается управлений (эквивалентно будет использоваться термин стратегия) в модели (1), то для них можно предложить различные варианты в зависимости от разнообразия возможных целей и порождаемых ими ограничений. В любом случае управление будет заключаться в распределении долей ресурсов, идущих на поддержку обеспечивающей деятельности системы и на повышение уровня системы обеспечения безопасности. При этом могут использоваться разные информационные обратные связи.

Для управления системой была предложена модель, описываемая тремя целевыми функциями для каждого из вариантов управления (паритета, доминирования и подавления):

$$F_{i\ddot{a}\delta}(t) = |y_5(t) - z_5(t)| < \delta_{i\ddot{a}\delta},$$

$$F_{\ddot{a}i}(t) = y_5(t) - z_5(t) > \delta_{\ddot{a}i},$$

$$F_{i\ddot{a}}(t) = z_5(t) < \delta_{i\ddot{a}},$$

где  $y_5(t)$  уровень безопасности системы, применяющей стратегию;  
 $z_5(t)$  уровень безопасности системы противника;  
 $\delta_*$  пороговые значения, задаваемые пользователем  $\delta_* \geq 0$ .

Управляющая система, блок управления функционирует самостоятельно. Блок управления состоит из двух элементов «Решающего устройства», в котором содержится вся логика управления, и «Исполнительного устройства», которое выполняет функцию распределения ресурса между потребляемыми переменными. Логика управления строится исходя из цели управления и состоит в распределении ресурсов на поддержание уровня соответствующих факторов.

Ресурс понимается в обобщённом, комплексном смысле. Однако в зависимости от назначения и масштаба модели он может пониматься более конкретно, например, как информационный ресурс, хотя и его можно рассматривать в более широком смысле, включая туда не только традиционное содержание, но и обеспечивающие составляющие, например, технологический, энергетический, кадровый, инфраструктурный ресурсы.

Предварительные опыты на модели показали, что полученные результаты правдоподобны и можно переходить к целенаправленным экспериментам, но:

- 1) несмотря на то, что решения системы (1) можно получить и аналитическим путем, возникают трудности, связанные с поиском корней полинома (по теореме Абеля-Руффини корни полинома степени выше четвертой нельзя найти в радикалах), порядок которого равен порядку системы, что вынуждает нас прибегать к численным методам решения данной системы;
- 2) коэффициенты при фазовых переменных для удобства рассматриваются как константы, задаваемые исследователем, но на самом деле они также зависят от множества факторов, что приводит систему дифференциальных уравнений к нелинейному виду.

Приведённое описание модели является достаточным, чтобы применить те или иные инструменты имитационного моделирования.

### Результаты вычислительных экспериментов

Представленная модель первоначально была описана средствами Simulink математического пакета Matlab. В первых экспериментах были рассмотрены различные варианты симметричного противоборства двух сторон со всевозможными комбинациями управлений. Критерием оценивания качества управления определялся ресурс каждой из систем. Стратегия считалась выигрышной, если ресурс системы не исчерпан, и наоборот, если система утратила все свои ресурсы, то её стратегия считалась проигрышной.

По результатам экспериментов была составлена табл. 1, в которой знаком «+» отмечается выигрыш стратегии выделенной жирным шрифтом и «-» соответственно проигрыш.

Таблица 1  
Возможные комбинации и исходы противоборства

|               | Паритет | Подавление | Доминирование |
|---------------|---------|------------|---------------|
| Паритет       | +       | –          | –             |
| Подавление    | +       | +          | –             |
| Доминирование | +       | +          | +             |

Таким образом, мы имеем следующую градацию целей управления: «Паритет – Подавление – Доминирование». Они расположены по степени возможности стороны с выбранной стратегией противодействовать противнику (от меньшей к большей). Так как начальные значения параметров противников в модели задавались равными, то нельзя было полностью оценить степень доверия к полученным результатам, но исходя из логики поведения модели, полученные результаты правдоподобны.

В ходе экспериментов в варианте противоборства стороны, имеющей цель управления «Доминирование» со стороны с целью «Паритет» была замечена неожиданная особенность: уровень безопасности обеих систем достигает значений близких к нулю и остаётся примерно на том же уровне. Если для стороны с целью «Паритет» это явление логично объясняется тем, что ресурс системы также падает до нуля, то для системы с целью «Доминирование» такое поведение казалось ошибкой в модели. Поэтому следующей задачей исследований являлся поиск решений данной проблемы. При этом была обнаружена прямая связь основной деятельности системы (ОДС) и уровня угроз у системы с целью управления «Доминирование» (рис. 2).

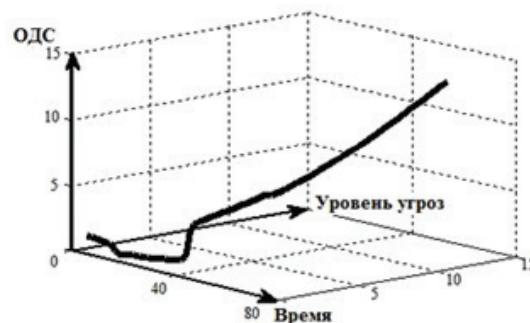


Рис. 2. Зависимость между основной деятельности системы и уровнем угроз

Из чего следовал вывод, что при развитии ОДС падение уровня безопасности это естественное явление. Тогда было сделано предложение о создании механизма, отвечающего за поддержание минимально допустимого уровня безопасности в системе, и проведении экспериментов, с целью изучения его влияния на ход противоборства. Начальные условия противоборства не менялись, только вместо девяти случаев, был рассмотрен один вариант со стратегиями «Паритет» и «Доминирование». В ходе эксперимента минимально допустимый уровень безопасности ( $s_0$ ) постепенно менялся от 0 до 1. В результате мы уже имеем две плоскости, показанные на рис. 3. Черными линиями изображена плоскость стороны с целью управления «Доминирование», серыми – с целью «Паритет».

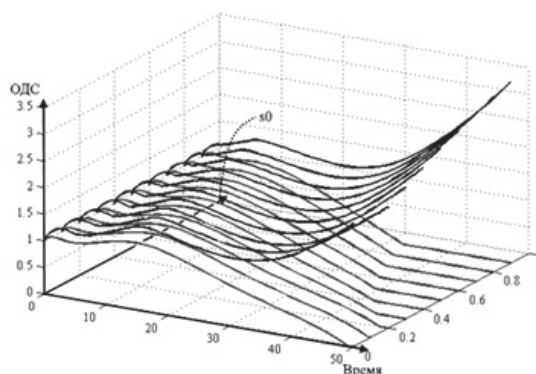


Рис. 3 – Зависимость ОДС от минимально допустимого уровня безопасности

Из графика видно, что чем больше значение  $s_0$ , тем быстрее происходит рост ОДС у выигрывающей стороны. Таким образом, модифицируя систему управления, можно получить более реалистичную информацию, что определяет основное направление совершенствования модели.

### Выводы

Однозначно необходимо совершенствовать блок управления с целью возможности адаптации сторон к условиям противоборства. Алгоритм адаптации будет основываться на полученной градации целей управления.

Учитывая, как показали эксперименты, что агрессивные стратегии имеют преимущество, а для сохранения паритета слабая сторона также вынуждена повышать свою агрессивность, наиболее интересным для исследования является возможность построения механизма (гипервизора), который бы регулировал их деятельность и побуждал противников к снижению уровня агрессии.

Для повышения эффективности работы с моделью следует осуществить переход к средам моделирования, предоставляющим более широкие возможности для визуализации процесса и результатов экспериментов.

## Литература

1. **Юсупов Р.М., Шишкин В.М.** Информационно-коммуникационные технологии и национальная безопасность – противоречивая реальность // Информатизация и связь, № 1, 2010. С. 27–35.
2. **Шишкин В.М.** Социально-экономическое развитие в контексте национальной безопасности и научно-технического развития. Динамическая модель // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем: сборник научных трудов VIII Международной школы-симпозиума АМУР-2014, Севастополь, 12-21 сентября 2014 / Под ред. доцента А.В. Сигала. Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2014. С. 359–364.
3. **Шишкин В.М., Абросимов И.К.** Динамическая модель системы взаимодействия развития ИКТ и обеспечения национальной безопасности // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Вып.1 / СПОИСУ. СПб.: 2015. С. 230–235.
4. **Моисеев Н.Н.** Простейшие математические модели экономического прогнозирования. М.: «Знание», 1975. 63 с.
5. **Юсупов Р.М.** Наука и национальная безопасность. 2-е изд. СПб.: Наука, 2011. 376с.
6. **Колесников К.Е., Шишкин В.М.** Исследование динамики симметричного противоборства на дифференциальной модели // Информационная безопасность социально-экономических систем: монография / Апатова Н.В. и др. / под ред. проф. О.В. Бойченко. Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2017. С. 202–218.