

УДК 519.1

Ю. И. Бродский, А. Н. Мягков

## ДЕЛОВАЯ ИГРА «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРЕХ СТРАН» В УЧЕБНОМ КУРСЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Статья посвящена проблемам возрождения в современном учебном курсе математического моделирования имитационной игры, в которую играли в отделе Н. Н. Моисеева Вычислительного центра АН СССР в конце 1960-х — начале 1970-х годов такие видные специалисты в области прикладной математики, как И. А. Ватель, Ю. Б. Гермейер, Ю. Г. Евтушенко, Ф. И. Ерешко, А. Ф. Копноненко, П. С. Краснощеков, Ю. Н. Павловский, А.А. Петров.*

**E-mail:** [yury\\_brodsky@mail.ru](mailto:yury_brodsky@mail.ru)

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сложные системы, имитационные игры, системы поддержки принятия решений.

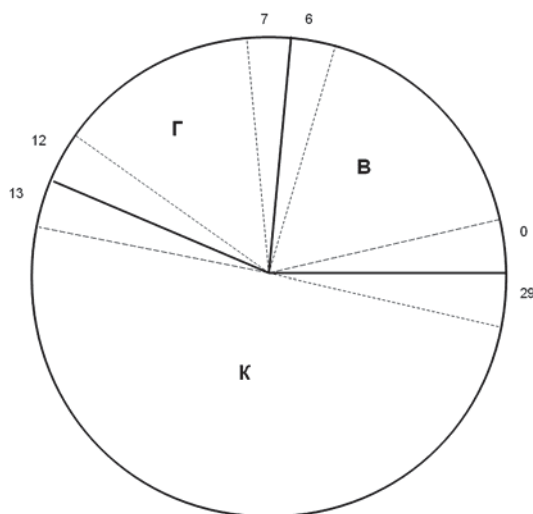
Игра создана как реакция ряда сотрудников ВЦ во главе с Н.Н. Моисеевым на зачастую непреодолимые трудности, постоянно возникавшие при попытках внедрения математических методов в управление народным хозяйством СССР. Эти трудности описаны в ряде работ (см., например, [1—3]). Создатели игры объясняли их в значительной мере недостаточным уровнем образования (особенно математического) тогдашних чиновников, принимавших управленческие решения. В результате возникло желание создать свой, свободный от бюрократов, виртуальный мир, с одной стороны, достаточно сложный, чтобы в нем оставались черты реальных управленческих проблем, а с другой — достаточно простой, чтобы его можно было реализовать существовавшими в то время средствами, между прочим, весьма скромными по нынешним меркам.

Результаты игры, описанные в работах [4] (наиболее подробно), [1] и [2], оказались парадоксальными: ведущие специалисты в области теории игр, исследования операций и математической теории управления довольно быстро довели свой виртуальный мир до ядерной войны и глубокого кризиса. При этом аналог благосостояния виртуального народа — целевой функционал игры — был забыт чуть ли не в первую очередь. Причины этого анализировались в уже упомянутых работах [1, 2, 4]. Однако до сих пор открытым остается следующий важный вопрос: а как же быть с главным посылом, с которого началось создание виртуального мира? Что же, дело не в косности

бюрократов и не в применении математических методов в управлении? Между прочим, этим косным и не слишком образованным бюрократам, к нашему счастью, удалось избежать мировой войны во время Карибского кризиса и еще нескольких менее известных острых ситуаций. По убеждению авторов, математические методы управления все же должны найти место и как средство поддержки принятия решений в области межгосударственных отношений. В чем же здесь дело? Какова роль математических средств поддержки управленческих решений? Что еще важно для устойчивого бескризисного развития межгосударственных отношений?

Желание разобраться с этими вопросами оказалось для авторов одним из побудительных мотивов возрождения упомянутой игры. Еще одним мотивом явилось осознание авторами полезности наличия такой игры и тем более ее реализации в учебном курсе имитационного моделирования. Во-первых, на ее достаточно обозримом примере поучительно проиллюстрировать воплощение определенной концепции моделирования сложных систем [5]; во-вторых, проведение с ее помощью ряда имитационных игр-экспериментов хорошо иллюстрирует применение систем поддержки принятия решений. Кроме того, возникает желание использовать полученную инструментальную оболочку для исследования некоторых современных явлений межгосударственных отношений, таких как ведение информационных войн, возникновение «оранжевых» революций и других важных тенденций последнего времени, гуманитарное понимание которых уже начинает формироваться у специалистов этой предметной области [6].

Кратко и почти на гуманитарном уровне опишем сценарий имитационной игры. Более подробное описание, с формулами и исходными данными, можно найти, как уже указывалось, в работах [4, 1, 2].



**Карта виртуального мира**

Рассматривается одномерный и замкнутый мир, расположенный на окружности (рисунок). В таком мире расстояния удобно измерять в градусах дуги. Окружность разбита на 30 одинаковых секторов по  $12^\circ$  и разделена на территории трех государств. Секторы нумеруются с 0-го по 29-й. Семь из них, с 0-го по 6-й, занимает страна В. Это развивающаяся страна со слабой экономикой, слабыми вооруженными силами и низким уровнем жизни, но обладающая некоторыми полезными ресурсами, инвестиции в которые могут быть интересны соседним странам. Еще шесть секторов — с 7-го по 12-й — занимает страна Г. Это развитая страна с сильными экономикой и армией, с высоким уровнем жизни. Оставшиеся 17 секторов — с 13-го по 29-й — занимает страна К с сильной армией, среднеразвитой экономикой и средним уровнем жизни.

Играющим предлагается разбиться на четыре группы. Три из них — правительства упомянутых виртуальных стран. Четвертая — самая малочисленная — посредники, «держатели игры», контролирующие игровой процесс. В данном случае компьютерная модель является средством поддержки принятия решений, решения же на основе компьютерной модели принимаются правительствами стран. Таким образом, имитационная игра оказывается неким гибридом деловой игры и имитационной модели.

Государства могут поставлять друг другу мирную и военную продукцию по любой согласованной цене, размещать на своей территории производственные мощности и войска соседей и, наоборот, национализировать чужие мощности на своей территории, вступать между собой в союзы, вести войны, заключать мир. В ходе дипломатических переговоров стороны имеют право как угодно блефовать и обманывать друг друга, но посредники должны знать истинные стремления всех игроков (иначе кто напишет объективную историю виртуального мира?!). Перед коллективами игроков — правительствами стран стоит благородная задача — повышение благосостояния своего народа (максимизируется функционал  $\frac{M_T - M_0}{M_0}$ , где

$M_0$  — мощности страны в мирном секторе экономики в начале игры, а  $M_T$  — мощности мирного сектора страны в конце игры). Игра заканчивается тогда, когда коллектив посредников решает ее закончить. Игроки заранее не знают, когда игра закончится, чтобы исключить так называемые «концевые эффекты», один из которых широко известен благодаря крылатому выражению, приписываемому маркизе де Помпадур: «После нас — хоть потоп!».

Далее будут кратко описаны модели развития взаимодействия государств, лежащие в основе игры. Более подробное описание можно найти в работе [4]. Играющим предлагается реализовать эту мо-

дель (например, средствами Excel) и затем провести несколько игр. Периодичность ходов может составлять один-два раза в неделю с еженедельным обсуждением результатов хода игры.

Приступим теперь к описанию законов развития виртуального мира. Все происходящее в нем можно разбить на три параллельно протекающих процесса. Экономический процесс рассчитывает развитие экономики стран с учетом как внутренней экономической и социальной ситуации, так и внешних факторов, связанных с торговлей, вывозом капитала и т. д. Военный процесс рассчитывает развитие военных конфликтов между странами с применением обычного оружия и захватом территории вместе с расположенными на ней производственными фондами. Процесс войны с применением оружия большой мощности моделирует развитие ядерных конфликтов. Очевидно, военные процессы значительную часть времени могут находиться в пассивном состоянии, когда они не влияют непосредственно на характеристики системы, например в условиях отсутствия военных конфликтов в виртуальном мире.

**Экономический процесс.** Экономика моделируемых стран двухотраслевая, она выпускает два вида продуктов: мирный и военный. Экономика в модели зависит от географии, т. е. от номера сектора. Кроме того, экономика зависит от страны: как уже упоминалось, в нашем мире одна из стран с высокоразвитой экономикой, другая — со среднеразвитой, а третья — развивающаяся страна. Соответственно этому у переменных будет три индекса:  $\alpha \in \{0, 1\}$  — отрасль, мирная или военная;  $m \in \{0, 1, \dots, 29\}$  — номер сектора окружности (географический регион);  $i \in \{B, \Gamma, K\}$  — номер страны. В каждом регионе планеты выпуск продукции можно вычислить по формуле

$$Y_{i,\alpha,m} = a_{i,\alpha,m} P_{i,\alpha,m} \Delta t.$$

Здесь  $Y_{i,\alpha,m}$  — выпуск продукции отрасли  $\alpha$  в регионе  $m$  страной  $i$ ;  $a_{i,\alpha,m}$  — коэффициент фондоотдачи промышленности отрасли  $\alpha$  страны  $i$ , размещенной в регионе  $m$ ;  $P_{i,\alpha,m}$  — производственные мощности в отрасли  $\alpha$ , которыми располагает страна в регионе  $m$ ;  $\Delta t$  — продолжительность шага моделирования. Начальное распределение мощностей стран по регионам таково, что только страна  $\Gamma$  имеет некоторые мощности на территории страны  $B$ . Тем не менее коэффициенты фондоотдачи  $a_{i,\alpha,m}$  определены на всем множестве своих индексов. Поэтому можно сказать, что в зависимости от значений этих коэффициентов для любой страны некоторые регионы планеты

(в том числе, возможно, чужих стран) представляют повышенный интерес с точки зрения эффективности размещения там производственных мощностей, а некоторые (в том числе и собственные), наоборот, большого интереса в этом отношении не представляют.

Производственные мощности эволюционируют согласно формуле

$$P_{n+1,i,\alpha,m} = P_{n,i,\alpha,m} + \Delta t(\delta P_{n,i,\alpha,m} + I_{n,i,\alpha,m} - \sigma_{i,\alpha,m} P_{n,i,\alpha,m}),$$

где  $\delta P_{n,i,\alpha,m}$  — скорость миграции фондов, равная разности между скоростью прибытия фондов в регион и убытия их из региона вследствие управленческих решений правительства о перемещении фондов между регионами, получения их в собственность от других стран и передачи в собственность другим странам, военных завоеваний и потерь;  $I_{n,i,\alpha,m}$  — скорость инвестиций в данную отрасль в данном регионе данной страной (это одно из управлений в распоряжении правительства страны);  $\sigma_{i,\alpha,m}$  — коэффициент амортизации фондов. Он также определен на всем множестве индексов и должен учитываться при анализе выгодности размещения той или иной страной ее производственных фондов в том или ином регионе.

Произведенный мирной отраслью  $i$ -й страны продукт  $\sum_{m=0}^{29} Y_{i,0,m}$  распределяется на инвестиции в мирные и военные отрасли экономики, которые правительство страны распределяет по регионам  $I_{i,\alpha,m}$ , а также на запасы продукта  $Z_i$ . Данное распределение есть управление правительства  $i$ -й страны. Запасы продукта могут быть использованы для торговли с другими странами, например для закупки вооружений, оплаты таких услуг с их стороны, как размещение на их территории мощностей и вооруженных сил, а также на последующие инвестиции в собственную экономику. Запасы размещаются в одном из регионов страны и в дальнейшем могут перемещаться по ее территории.

**Военный процесс.** Перейдем к описанию военного сектора экономики. Продукция военного сектора представляет собой вооружения двух типов: обычные и ядерные. Обычные вооружения в случае военного конфликта «сражаются» между собой в соответствии с уравнениями Осипова—Ланчестера первого рода. Ядерным оружием обладают только страны Г и К, страна В сама не производит ядерное оружие (однако приобрести его у страны Г или К ей не запрещено).

Рассмотрим блок, который рассчитывал развитие военного конфликта между странами с использованием обычного оружия. Характерной особенностью таких конфликтов является существование линии фронта, перемещение которой характеризует захват территории вместе с оставшимися на ней фондами. Считалось, что обычные во-

оружия государств могут быть расположены на границе и в резерве. Местоположение резерва и условия его перемещения определяются сценарием. С физической точки зрения в основе модели лежало представление о боевых действиях как о совокупности двух связанных процессов: борьбы оружием «ближнего боя» на линии фронта, которая описывала ее перемещение в зависимости от плотности воюющих сторон, и борьбы оружием «дальнего боя», которая определяла изменение плотностей с течением времени. Предполагалось, что борьба оружием ближнего боя происходит в соответствии с моделью Осипова—Ланчестера первого рода, а борьба оружием дальнего боя описывается моделями Осипова—Ланчестера первого и второго родов [7].

Считалось, что на линии фронта войска могут осуществлять операции трех типов: наступление, оборона и отступление. Поскольку воюют две стороны, возможно девять сочетаний этих операций. При этом лишь в трех из них войска несут потери в соответствии с уравнениями Осипова—Ланчестера:

1. Наступление — наступление (встречный бой).
2. Наступление — оборона.
3. Оборона — наступление.

В перечисленных случаях линия фронта неподвижна, а войска (вооружения в данной модели) несут потери в соответствии с уравнениями Осипова—Ланчестера. При этом в обороне коэффициент эффективности вооружений в несколько раз превышает соответствующий коэффициент нападающей стороны.

В остальных шести сочетаниях войска потерь не несут, но в двух из них, а именно: наступление — отступление и отступление — наступление, линия фронта перемещается со скоростью перемещения войск.

Как возникает процесс перемещения линии фронта? В модели боевых действий помимо уравнений Осипова—Ланчестера учитывается психологический фактор устойчивости войск — так называемый фактор Толстого (одно из философских отступлений в «Войне и мире» Толстого посвящено отысканию этого фактора) [7]. Дело в том, что в жизни достаточно редко бой продолжается до полного уничтожения одной из сторон. Гораздо более обычное явление — утрата боеспособности одной из сторон при превышении определенного уровня потерь. В модели это означает, что если сторона наступала — она переходит к обороне, если оборонялась — начинает отступать (несмотря на приказ осуществлять определенный тип боевой операции). Следовательно, если во время одной из операций оборона — наступление или наступление — оборона обороняющаяся сторона теряет боеспособность, она начинает отступать, и, таким образом, начинается перемещение линии фронта. Боеспособность может быть

вновь восстановлена по прошествии определенного интервала времени или же в связи с поступлением в определенном количестве свежих боевых единиц в воюющий сектор из других секторов.

**Процесс войны с применением оружия большой мощности.** Предполагается, что ядерный конфликт протекает мгновенно, так как характерное время его развития много меньше характерного времени развития не только экономики, но и военных конфликтов с применением обычных вооружений.

Каждая страна, располагающая ядерным оружием, заранее составляет план его использования, указывающий количество средств, нацеленных на различные регионы. Страна, желая нанести по своим противникам удар мощным оружием, задает время  $T$ , когда этот удар следует осуществить, а также величины, характеризующие целераспределение, т. е. указывающие доли средств, отводимые на уничтожение в странах конкретных объектов. Считается, что оружие большой мощности может уничтожить как фонды обоих секторов, так и вооружения. Однако запасы продукта при этом не страдают. Количество уничтоженного пропорционально количеству средств, достигнувших данного объекта. Соответствующие коэффициенты пропорциональности (коэффициенты эффективности) считаются заданными, при этом они зависят от вида уничтожаемого объекта (фонды или вооружения), плотности его расположения, а также от «фактора упреждения», который определяется в сценарии. В модели предусматривается возможность того, что страна, по которой наносится удар, в какой-то мере обладает возможностью отразить его, т. е. уничтожить часть средств, атакующих ее. Страны могут вкладывать средства в систему ПРО, уменьшающую количество ядерного оружия, которое достигает страны.

**Особенности реализации системы поддержки имитационной игры.** В настоящее время имитационная игра трех стран реализуется в форме курсовой работы студентов одной из групп МГТУ им. Н.Э. Баумана. В качестве инструментального средства реализации проекта выбрано программное обеспечение (ПО) с открытым кодом, интерес к которому возрос в связи с переходом ряда госструктур на открытое ПО, появлением первой отечественной операционной системы, сертифицированной по второй категории защиты информации и основанной на популярной операционной среде (ОС) Linux. Авторам было интересно опробовать возможности открытого ПО, так как велика вероятность перехода на него структур, с которыми им приходилось ранее плодотворно сотрудничать.

Система программ поддержки имитационной игры, по-видимому, будет кроссплатформенной, т. е. будет способна работать как в среде Windows, так и в среде Linux. Работа выполняется в популярной среде web-разработчиков инструментальной среде Denwer, в ее расши-

ренном варианте, включающем web-сервер Apache с поддержкой скриптовых языков Perl, PHP и базу данных PostgreSQL. Также предполагается, по крайней мере на начальном этапе отладки алгоритмов, использование офисного пакета OpenOffice в качестве средства для несложных вычислений и генерации диаграмм в целях презентации результатов моделирования.

Web-решению было сознательно отдано предпочтение, например, перед выбором в качестве инструмента языков программирования типа C++, C# или Java, чтобы подчеркнуть в учебном курсе, что сложность моделирования сложных систем лежит не только в сложности самих вычислительных алгоритмов (что, конечно же, имеет место), но и в сложности организации данных, сложности описания системных связей, сложности представления результатов моделирования.

Выбор базы данных PostgreSQL (а не MySQL — более популярной среди разработчиков и более быстрой на небольших задачах) обусловлен в основном тем, что именно эта база вошла в уже упоминавшуюся ОС, рекомендованную для госструктур, и, следовательно, имеется определенный учебный интерес знакомства именно с ней.

С дальнейшим развитием проекта можно будет познакомиться по адресу: <http://simul.ccas.ru/igra>.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-07-00176) и РГНФ (грант № 12-06-00932).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт имитационного моделирования при анализе социально-экономических явлений / Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский, Н.Н. Оленев., Ю.Н. Павловский. – М.: МЗ Пресс, 2005. – 137 с.
2. Белотелов Н. В., Бродский Ю. И., Павловский Ю. Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 320 с.
3. Бродский Ю. И. Устойчивое развитие и кризисные явления в эволюции сложных систем // Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов. – М.: ВЦ РАН, 2009. – С. 103–136.
4. Павловский Ю. Н. Имитационные системы и модели. – М.: Знание, 1990. – 46 с.
5. Бродский Ю. И. Распределенное имитационное моделирование сложных систем. – М.: ВЦ РАН, 2010. – 156 с.
6. Гринин Л. Е., Коротаев А. В. Циклы, кризисы, ловушки современной Мир-Системы: Исследование кондратьевских, жюгляровских и вековых циклов, глобальных кризисов, мальтузианских и постмальтузианских ловушек. – М.: URSS, 2012. – 480 с.
7. Иванилов В. Ю., Огарышев В. Ф., Павловский Ю. Н. Имитация конфликтов. – М.: ВЦ РАН, 1993. – 196 с.

Статья поступила в редакцию 03.07.2012.