

## ЧАСТЬ VI. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ

### 15. Имитационные модели механизмов управления

#### 15.1. Имитационные игры



А.В. Щепкин

В природе и обществе часто встречаются явления, в которых те или иные участники имеют несовпадающие интересы и располагают различными путями для достижения своих целей. Несовпадение интересов и целей приводит к столкновению мнений, а иногда и сил. Такие явления называются *конфликтами*.

Ход событий в конфликте зависит от решений, принимаемых каждой из сторон, и поэтому поведение любого участника конфликта, если оно в том или ином смысле разумно, должно определяться с учетом возможного поведения всех его участников. Для конфликта характерно то, что ни один из его участников заранее не знает решений, принимаемых остальными участниками, то есть, вынужден действовать в условиях неопределенности.

Конфликт может возникнуть также из различия целей, которые отражают не только несовпадающие интересы различных сторон, но и многосторонние интересы одного и того же лица.

#### Модели конфликтов

Изучением конфликтов занимаются различные научные дисциплины, такие как психология, социология, биология, математика и т.д. Каждая из этих наук рассматривает конфликт со своих позиций и применяет, соответственно, свои методы исследования. В [1] отмечается, что можно выделить два подхода к исследованию конфликтных ситуаций: нормативный (математический) и психологический. Целью нормативных исследований является разработка правил поведения, позволяющих оптимально разрешить данный конфликт или способствующих получению максимально возможного в данной ситуации выигрыша. Теория игр, имея экономическое и социально-экономическое происхождение, является, тем не менее, математической дисциплиной, одним из разделов математики, который изучает формальные модели принятия решений в условиях конфликта.

## Имитационные, деловые и другие игры

В основе создания имитационных игр также лежит понятие конфликта, причем, конфликт здесь рассматривается с тех же позиций, что и в теории игр.

**Имитационные игры** широко применяются при исследовании организационных систем и как активный метод обучения. Термины «управленческие», «плановые», «административные» и «деловые» игры чаще используются разработчиками и пользователями учебных имитационных игр.

Термины «деловая игра» (business game) и «имитационная игра» (simulation game), заимствованы из западной литературы. Термины «административные игры», «плановые игры» и «управленческие игры» – порождение отечественных авторов.

При использовании игрового подхода как средства исследования, больше применяется термин имитационные игры. Применение игрового подхода подразумевает:

- повторяемость модельных ситуаций (имитационная игра включает в себя, как правило, несколько партий);
- наличие у каждого участника множества возможных альтернатив при необходимости выбора какой-либо одной в каждой партии игры;
- динамизм развития событий в моделируемых ситуациях (условия принятия решений участниками игры меняется от партии к партии).

В этом случае имитационная игра рассматривается как модель принятия решений в хозяйственной организации, модель взаимодействия людей, находящихся в условиях функционирования конкретных систем и стремящихся к достижению некоторых (не всегда четко определенных).

## Военные игры

Игры, как способ проверки знаний и умение применять их на практике, известны с древних времен. Это *военные игры* – учения и маневры. При моделировании ситуаций, возникающих между воюющими сторонами, как правило, имитируются действия двух сторон (команд), и выигрыш одной команды соответствует проигрышу другой. То есть, интересы команд противоположны, поэтому военные игры являются своеобразным аналогом антагонистических игр из математической теории игр [2, 3]. Для проведения военных игр создавались соответствующие ситуации, которые в той или иной степени отражали будущую боевую обстановку. В таких искусственно созданных ситуациях участники учений и маневров осваивали приемы боя, приобретали опыт ведения боевых действий.

Как отмечается в [4], древние римляне и франки проводили двусторонние военные игры – прообразы современных маневров. В этих играх испытывались не только физические силы и оружие воинов, но и методы организации сражений. К аналогичным военным играм следует отнести и организацию военных маневров и тактических учений в России при Петре I, которые берут начало от «потешных» игр. Именно в «потешных» играх вместе с Петром военную науку постигли многие будущие полководцы и государственные деятели России.

## Штабные учения

Следующим шагом в развитии игрового моделирования в военной области явилась организация и проведение *штабных учений*. При подготовке и проведении штабных учений или штабных игр широко применялись модели, разработанные с помощью карт и планов, которые являются удобным средством моделирования. Первым, кто оценил это средство моделирования и применил его в практической деятельности, был Наполеон. Он использовал иголки с разноцветными головками, которые накладывались на географическую карту и обозначали расположение военных отрядов. Принципиальная особенность игр, проводимых Наполеоном, заключалась в том, что он использовал их для «проигрывания» предстоящих битв с целью принятия решений.

Таким образом, военные игры, с одной стороны, предназначены для обучения военнослужащих оперативному реагированию на внезапно возникающие и быстро меняющиеся ситуации, а с другой стороны, для приобретения навыков разработки и реализации крупномасштабных операций.

## Диспетчерские игры

Большинство игр, которые были разработаны в 30 гг. в нашей стране, были предназначены для новой в то время системы оперативного руководства производством (системы диспетчеризации). Для приобретения опыта оперативного управления, освоения новой документации и проверки качества новых принципов управления был разработан ряд имитационных игр, который получил название «диспетчерские игры» [5].

«Второе рождение» имитационных игр связано с усложнением организационных систем управления и задач, стоящих перед ними, а также предопределено развитием вычислительной техники и методов моделирования, с одной стороны, и игрового подхода к анализу поведения экономических систем, с другой стороны. В современных экономических системах каждое «плохое» решение, принятое руководством, обходится очень, поэтому роль моделирования возрастает вместе с требованиями жизни. И именно модели, которые наряду с формализованным описанием элементов систем, включают такие реально действующие элементы – людей с их интересами, предпочтениями, склонностями, опытом по принятию решений и с умением прогнозировать последствия своих решений, – более близки к описываемым ситуациям.

## Использование ЭВМ

Развитие военных игр, в конечном счете, привело к тому, что военная проблематика стала захватывать и чисто экономические вопросы. Так, в 1955 году сотрудниками американской фирмы «Рэнд корпорейшен» была разработана первая игра с применением ЭВМ. Цель игры заключалась в ознакомлении и обучении офицеров службы материально-технического обеспечения американского военно-воздушного флота вопросам управления снабжением запасными частями военно-воздушных баз США.

В 1956 году представители American Management Association (АМА) изучили опыт военных игр и разработали имитационную игру, моделирующую процесс принятия решений высшим руководством фирмы [6].

Варианты этой игры разрабатывались и использовались многими другими фирмами в разных странах [7]. Все они характеризовались введением таких долгосрочных факторов общеэкономического характера, как колебания спроса, финансирование капиталовложений, политика цен и прочее.

Многие исследовательские имитационные игры находят применение при решении, например, следующих задач:

- формирование территориально-производственных комплексов;
- испытания автоматических систем управления (АСУ);

## Исследовательские имитационные игры

- согласование хозяйственных интересов различных объектов организационной структуры;
- исследование механизмов функционирования организационных систем.

Здесь следует отметить, что при использовании исследовательских имитационных игр, разработчики и пользователи по-разному их применяют в своих исследованиях и как утверждается в [8] отстаивают различные концепции применения игр в исследованиях.

Проведение имитационной игры представляется как проведение своеобразного *эксперимента*. Участникам эксперимента предлагается игровая ситуация, для них формируются цели, от них требуется решение, направленное на достижение цели. Участники принимают решения на основе своего жизненного опыта, своих общих и специальных знаний, своей склонностью к риску или осторожности, своих представлений о цели моделируемых систем и возможных способах достижения этих целей. Решения участников эксперимента (проводимого неоднократно) анализируются с целью установления устойчивого множества стратегий поведения, которые просматриваются на пути поиска решений, приводящих к достижению цели.

## 15.2. Организация имитационных игр

### Основные направления использования имитационных игр:

- проверка гипотез;
- моделирование реальных механизмов управления

Опыт проведения игровых экспериментов показал, что для игр, предназначенных для исследования механизмов функционирования организационных систем, целесообразно выделить два основных направления. Первое связано с исследованием с помощью имитационных игр различных механизмов функционирования на упрощенных моделях организационных систем с целью **проверки и подтверждения теоретических выводов**, а также обоснования гипотез о поведении человека в системе управления. Второе направление связано с **моделированием реальных механизмов**. Оба эти направления тесно связаны. Разработку и экспериментальную проверку рекомендаций по совершенствованию механизмов управления, целесообразно проводить сначала на упрощенных моделях, что позволяет качественно проверить правильность выдвигаемых рекомендаций, и лишь затем на достаточно адекватной (а значит, как правило, и достаточно сложной) модели, на которой можно уточнить и количественные характеристики механизма.

Имитационные игры, разрабатываемые в [9-14], относятся, главным образом, к первому направлению использования имитационных игр в исследовательских и учебных целях и отличаются достаточно простыми «модельными описаниями».

Как уже отмечалось, с помощью имитационных игр можно анализировать действующие механизмы функционирования, исследовать новые принципы управления, проверять рекомендации по совершенствованию существующих механизмов управления. Достоинства метода имитационных игр заключается в том, что затраты на проведение подобных экспериментов в реальной системе несоизмеримы с затратами на разработку и проведение имитационных игр, а степень риска, как бы ни была она велика в случае игры, незначительна по сравнению с риском работы в реальной системе. В основном, все игровые эксперименты проводятся с моделями организационных систем на первом и втором уровне детализации, что подразумевает достаточную простоту формальных моделей.

Игроки

В игровых экспериментах участников эксперимента, выполняющих роли агентов, называют *игроками*.

Плановый период

При проведении имитационной игры исследуется функционирование организационной системы в течение определенного периода времени. Этот период времени получил название *плановый период*. Такой же термин используют специалисты в области имитационного моделирования. В их исследованиях время «проигрывания» различных ситуаций на имитационной модели также называется плановым периодом.

В игровой интерпретации отдельный период функционирования организационной системы рассматривается как одна *партия игры*, при этом предполагается, что механизм функционирования определен и не меняется при переходе от одного периода функционирования к другому.

При проведении игровых экспериментов проводится анализ стратегий игроков. Рассматривается соответствие стратегий, которых придерживаются игроки в игре, тем гипотезам поведения, которые были выдвинуты при теоретическом анализе формальной модели.

Схема и правила игры

Однако вопрос о выборе рациональной стратегии игроком стоит достаточно остро при проведении смешанных игр, то есть когда часть игроков заменяется автоматами, которые формируют свою стратегию по определенному алгоритму.

Разработку имитационной игры необходимо начинать с четкой формулировки основного ее *назначения*. Одновременно следует точно определить конкретные цели имитационной игры: если игра предназначена для обучения – чему в первую очередь она будет обучать, если перед имитационной игрой ставятся исследовательские задачи, следует ясно представить, какие стороны хозяйственной деятельности будет исследовать создаваемая игра. После этого можно приступать к формированию *схемы игры* и *основных ее*

*правил.*

В выбранной схеме функционирования надо предельно точно отразить опыт работы реальных систем, обращая особое внимание на структуру системы, целевые функции подсистем и системы в целом, на выбор управляющих воздействий и т.д. Одна из основных сложностей построения модели исследуемой ситуации заключается в том, что стремление к наиболее полному отражению исследуемой ситуации может привести к излишней детализации модели, которая в свою очередь повлечет за собой усложнение информационного обеспечения построенной модели. В результате этого увеличивается время, затрачиваемое на игру, затрудняется понимание происходящих процессов. Все это приводит к тому, что эффективность проведения игры снижается. Лучший способ избежать такого рода опасности заключается в том, чтобы постоянно помнить о конкретной цели проектируемой игры. Но при этом следует учитывать, что ситуации, анализируемые в игре, не должны быть упрощены до такой степени, что необходимое решение можно было бы найти непосредственно без глубокого анализа протекающих процессов, так как в том случае результаты, полученные при анализе хозяйственной деятельности, будут носить поверхностный характер.

Информационное  
обеспечение

Отражая в модели различные аспекты хозяйственной деятельности, необходимо учитывать те факты, которые в существенной степени отражают «реакцию» одного звена моделируемой системы на информацию, поступающую от других, связанных с ним звеньев. Отсюда следует, что *информационное обеспечение* имитационной игры тесно связано с построением модели игры. Это особенно важно в том случае, когда модель исследуемой системы строится по частям. Именно информационное обеспечение связывает один моделируемый процесс с другим. Даже если каждая смоделированная часть процесса точно соответствует реальной деятельности, отсюда никак не следует, что после объединения этих частей полученная модель будет полностью соответствовать моделируемой ситуации. Таким образом, информация, исходящая из одной части модели и обрабатываемая другой частью, должна быть строго обоснована, чтобы полнее и точнее отражать процессы моделируемой деятельности.

При построении имитационных игр необходимо разработать методику *оценки качества* принимаемых решений. Для оценки действий и решений участников имитационной игры широко применяются финансовые показатели, представленные в денежном выражении.

Формальные правила игры должны включать в себя описание методов оценки степени достижения целей игры.

Если имитационная игра моделирует функционирование системы, в которой цели могут формироваться только качественно, либо при их количественном выражении трудно указать в явном виде связь степени достижения цели, то при построении игры особое внимание следует уделять разработке методов оценки степени достижения цели.

#### «Стимулирование» игроков

Важное место в комплексе требований к имитационным играм занимает простота представления данных о поведении игроков.

Ответственным моментом при создании имитационной игры является разработка правил «стимулирования» игроков, так как в имитационной игре должны проявляться механизмы и принципы, действующие в реальной экономике, в частности, один из важнейших принципов – принцип материального стимулирования. Введение поощрений за «хорошие» решения и наказаний за «плохие» устраняют резкие колебания результатов, которые возникают при попытке игроков проверить самые невероятные варианты поведения.

Таким образом, прежде чем приступить к построению имитационной игры, необходимо:

- установить ее цель;
- выбрать методы обработки и интерпретации результатов;
- установить схему проведения;
- определить модель и установить функциональные связи;
- разработать систему оценки степени достижения цели и систему стимулирования участников игры.

Успешное проведение игры во многом зависит от заинтересованности участников в результатах имитационной игры. Отсутствие заинтересованности приводит к тому, что игра проходит вяло, а ее результаты оказываются трудно интерпретируемыми. Заинтересованность в игре непосредственно связана с наглядностью представления результатов игры, оперативностью ее проведения и правилами стимулирования участников игры.

#### Описание игры

При подборе участников также необходимо учитывать их подготовку к участию в имитационной игре. Для того, чтобы сократить время ознакомления участников с условиями имитационной игры, необходимо представить к ней ясное и четкое руководство.

Опыт разработки и проведения имитационных игр [9, 12, 15] показывает, что имитационную игру целесообразно представлять как описание некоторой последовательности разделов. Как правило, **описание игры** включает девять компонентов (разделов):



1. Общая характеристика;
2. Описание ситуации;
3. Цель игры;
4. Задача Центра;
5. Задача участников игры;
6. Формальная модель;
7. Анализ формальной модели;
8. Руководство для участников игры;
9. Результаты проведения игры.

Раздел 6 включается в описание игры, если формализация модели позволяет лучше понять суть игры, или если в дальнейшем предполагается провести анализ формальной модели.

Раздел 7 может отсутствовать, если известными математическими средствами провести анализ модели или невозможно или слишком громоздко.

Может отсутствовать и раздел 9, если нет опыта проведения имитационной игры.

## Этапы

Каждая имитационная игра состоит из нескольких партий. Одна партия большинства имитационных игр состоит из трех **этапов**.

I этап – сбор информации, т.е. сообщение игроками в Центр запрашиваемой информации.

II этап – обработка полученной информации и выработка соответствующих решений.

III этап – реализация полученных решений, подсчет значений целевых функций.

Количество партий, как правило, не ограничивается заранее, хотя возможны варианты, когда количество партий фиксировано.

По завершении игры проводится подведение итогов и определение победителей.

## Ведущий игры

Практика проведения имитационных игр показала целесообразность присутствия *ведущего игры*. В функции ведущего входит задание параметров моделируемой системы, оперативное изменение их в случае необходимости. В распоряжении ведущего должны быть средства, позволяющие ему в любой момент активизировать тот или иной блок управляющей программы:

- задать начало игры,
- окончить игру,
- задать новые параметры модели,
- послать дополнительную справочную информацию участникам игры,
- дать им рекомендации по принятию решений в данной партии,
- обработать и обсудить результаты игры [5].

Проведение имитационной игры в режиме диалога с компьютером осуществляется путем ответов на запросы, формируемые соответствующей программой. Запросы, связанные с обслуживанием всей игры, выводятся на монитор ведущего. На мониторы игроков поступает лишь информация, характеризующая состояние игрока и необходимая для принятия решения. Форма запросов и форма сообщений для всех участников игры определяются при построении игры из соображений простоты, содержательности и удобства представления данных.

Отвечая на запросы, ведущий формирует модель игры, задает условия ее проведения. Смоделировав необходимую ситуацию, ведущий задает параметры этой ситуации. Затем, в соответствии с программой, на мониторы поступают сообщения для участников об условиях и механизме игры. Кроме того, каждый участник получает сообщение о параметрах своей модели. После этого каждый участник игры может вводить свою информацию через монитор. Специальный блок программы осуществляет проверку полученных от участников сообщений. Если в каком – либо сообщении была допущена ошибка, то запрос на это сообщение повторяется.

### 15.3. Игры с автоматами

#### Автоматы

В играх с участием автоматов часть участников игры заменяются *автоматами* (под автоматом понимается специальная программа, в которой реализован алгоритм гипотезы поведения лица, принимающего решения) с формализованными процедурами принятия решений (заданными правилами поведения). Замена реального игрока на искусственного (автомат) представляет собой попытку построить модель поведения человека. Эта модель включает в себя основные параметры, характеризующие человека, прежде всего, мотивы экономической активности, ее цели и средства достижения этих целей.

Понятно, что имитация многообразия человеческой личности, ее индивидуальности, разнообразных мотивов деятельности – это задача, которая в полном объеме, практически неразрешима. Однако, по мнению авторов [16] данная проблема значительно упрощается, поскольку формализует, главным образом, то, что объясняет экономическое поведение людей в разных хозяйственных ситуациях. Анализируя различные направления моделирования экономического поведения человека, авторы [16] делают вывод, что стремление человека минимизировать свои затраты и максимизировать выгоду явно просматривается среди многообразных подходов к моделированию человеческой дея-

тельности. Поэтому принцип рационального экономического поведения является универсальным экономическим принципом при моделировании поведения людей в рамках модели «экономического человека». Именно этот принцип положен в основу формальных моделей процедур принятия решений в алгоритмах поведения автоматов.

Использование  
игр с автоматами

Игры с автоматами применяются в тех случаях, когда необходимо провести исследование функционирования организационной системы с большим числом агентов (поскольку проведение соответствующей игры с большим числом участников нереально).

Для проверки эффективности той или иной гипотезы поведения участников также необходимо проведение имитационных игр с автоматами. При этом различные гипотезы поведения реальных игроков задаются в виде алгоритма поведения автоматов, проводится ряд имитационных игр, а затем оценивается эффективность поведения автомата по сравнению с реальными участниками путем сравнения выигрышей всех участников игры.

Игровые тренажеры

Наконец, проведение имитационных игр с автоматами целесообразно при отработке навыков принятия решений в повторяющихся ситуациях. При этом один участник играет с автоматами. Такой тип игр получил название *игровых тренажеров*.

К числу работ, посвященных задаче создания искусственных игроков (роботов, автоматов) относятся монографии [17, 18, 19] и др.

Игры с автоматами очень близки к имитационному моделированию. В случае, когда все участники игры заменены автоматами, получаем имитационную модель организации (игры автоматов) [20]. Такие игры применяются в тех случаях, когда необходимо провести значительное число партий для получения статистически значимой оценки результатов. Это связано с тем, что «быстродействие» имитационной игры ограничено временем принятия решения человеком (порядка одной минуты в простейших играх). И именно время принятия решения человеком ограничивает и продолжительность одной партии (две–три минуты в простейших играх). Игры автоматов позволяют сократить продолжительность одной партии до долей секунды.

Следует отметить, что замена в игре реальных игроков на искусственных и изучение функционирования модели организационной системы, когда все игроки заменены автоматами, дает возможность проводить анализ коллективного поведения автоматов.

Начало исследований в этом направлении было положено в [17] при рассмотрении задач физиологии. Исходя из

## Информированность

того, что мозг человека состоит из большого числа нейронов, которые выполняют достаточно простые функции (аналог простейшего автомата), результат их совместного функционирования демонстрирует феноменальные возможности приспособительных реакций организма к самым разнообразным влияниям окружающей среды.

Однако принципиальным отличием автоматов, поведение которых исследовались в [17], от автоматов, которые применяются в рассматриваемых имитационных играх, является то, что эти автоматы не имеют ни малейшего представления об игре, в которой они участвуют. На эту особенность автоматов было обращено внимание в [20]. Здесь было отмечено, что в играх, с помощью которых проводится анализ функционирования экономических систем, **информация игрока об игре** (о функциях выигрыша) часто ограничена (не полна), но все-таки имеется. В играх такого рода игроки располагают, как правило, качественными представлениями об игре и могут оценить последствия принимаемых решений. Кроме этого, при организации и проведении имитационной игры игроки знакомятся с правилами и целями игры, механизмами управления, своими целевыми функциями и функциональной зависимостью значений целевых функций от принимаемых решений.

Алгоритм поведения автоматов основывается на принципе, сущность которого заключается в том, что человек при выборе стратегии поведения действует, как правило, не случайным, а закономерным образом, и эта закономерность может быть обнаружена автоматом по ряду последовательных наблюдений.

Автоматы, используемые в игровых моделях для анализа функционирования организационных систем, программируются на основании некоторых гипотез о поведении людей в моделируемой ситуации. Сами гипотезы формируются на основе анализа стратегий реальных игроков в имитационной игре, и эти гипотезы можно, в свою очередь, проверить при проведении имитационной игры.

## Индикаторное поведение

В простейших имитационных играх алгоритм выбора решения автоматом основывается на аксиоме *индикаторного поведения* [20]. В имитационной игре участник для достижения своего выигрыша принимает решение по формированию некоторой величины  $x_i$ , которая затем используется для выработки управляющего воздействия. Если считать, что в каждой партии выбор  $x_i$   $i$ -м игроком определяет его движение в сторону цели, то формально стратегия поведения автомата может быть представлена в виде

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \gamma_i^k [\hat{x}_i^k - x_i^k], \quad \gamma_i^k \in [0, 1], \quad (1)$$

где  $x_i^{k+1}$  – состояние  $i$ -го автомата в  $k+1$ -ой партии игры,  $\hat{x}_i^k$  – положение цели  $i$ -го автомата в  $k$ -й партии,

$$\hat{x}_i^k = \operatorname{argmax}_{x_i} \varphi_i(x_1^k, x_2^k, \dots, x_{i-1}^k, x_i, x_{i+1}^k, \dots, x_n^k).$$

Другими словами, это то состояние, которое обеспечивает  $i$ -му автомату максимальное или минимальное значение целевой функции в  $k$ -й партии. Величина  $\gamma_i^k$  определяет величину шага в сторону цели. В играх, где используются автоматы с индикаторным поведением, настройка автомата заключается в выборе процедуры изменения  $\gamma_i^k$  от партии к партии. Конкретное значение  $\gamma_i^k$  задается исследователем, который с помощью выражения (1) реализует алгоритм поведения реального игрока. Такие автоматы позволяют получать хорошие результаты в тех имитационных играх, где целевые функции участников игры являются непрерывными.

## 15.4. Примеры имитационных игр

### Имитационная игра «Стимулирование»

#### Целевые функции

Для  $i$ -го агента коллектива целевая функция записывается в виде (см. описание механизмов бригадной оплаты труда выше):

$$\varphi_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j} \Phi - k_i x_i,$$

где  $x_i$  – действие агента,  $\Phi$  – фонд стимулирования,  $k_i$  – коэффициент затрат агента.

В каждой партии агенты выбором действий стремятся увеличить значение своих целевых функций [21].

#### Поведение автоматов

При проведении игрового эксперимента рассматривалась деятельность коллектива, состоящего из пяти игроков, ( $n = 5$ ). Фонд  $\Phi = 2000$ . Роль агентов выполняли автоматы со значениями параметров :  $\gamma_1 = 0,3$ ;  $\gamma_2 = 0,5$ ;  $\gamma_3 = 0,4$ ;  $\gamma_4 = 0,6$ ;  $\gamma_5 = 0,7$  для всех партий игры. Значения коэффициентов затрат равнялись  $k_1 = 3$ ;  $k_2 = k_3 = k_4 = 4$ ;  $k_5 = 5$ . Положение цели  $i$ -го автомата в  $k$ -й партии определяется выражением

$$\hat{x}_i^k = \sqrt{\frac{\Phi}{k_i} \sum_{j \neq i}^n x_j^k - \sum_{j \neq i}^n x_j^k}.$$

#### Результаты игры

В первой партии игры автоматам были заданы следующие действия  $x_1^{(1)} = 10$ ;  $x_2^{(1)} = 15$ ;  $x_3^{(1)} = 20$ ;  $x_4^{(1)} = 25$ ;  $x_5^{(1)} = 30$ . В соответствии с (1) на втором шаге действия автоматов были равны  $x_1^{(2)} = 101$ ;  $x_2^{(2)} = 82$ ;  $x_3^{(2)} = 76$ ;  $x_4^{(2)} = 89$ ;  $x_5^{(2)} = 43$ .

На рис. 15.1 приведены графики изменения действий ав-

томатов, на рис. 15.2 – график изменения суммы действий.

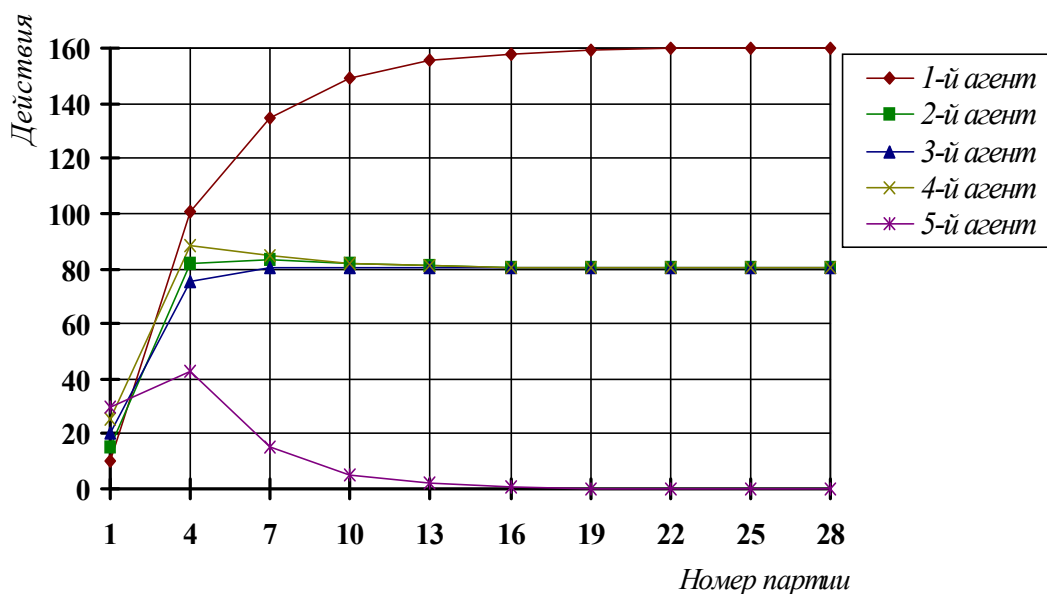


Рис. 15.1. Динамика действий в игре «Стимулирование»

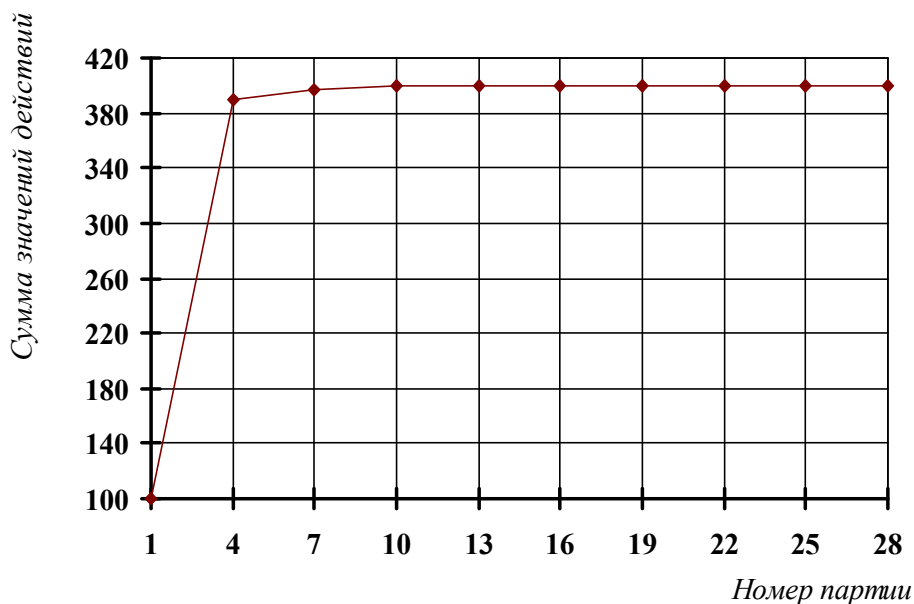


Рис. 15.2. Динамика суммы действий в игре «Стимулирование»

Схождение к равновесию

Из проведенной игры следует, что к девятнадцатой партии игроки сошлись в равновесную ситуацию по Нэшу, причем в этой ситуации, их равновесные значения действий равны рассчитанным теоретически.

Развитием имитационной игры «Стимулирование» является имитационная игра «Стимулирование за выполнение нескольких видов деятельности» [22].

## **Имитационная игра «Стимулирование за выполнение нескольких видов деятельности»**

### **Общая характеристика**

Применение систем стимулирования в коллективе ориентировано на развитие механизмов личной заинтересованности и персональной ответственности. Их применение нацелено на то, чтобы повысить предпринимательскую активность всех работников и сделать организацию, где трудится коллектив, более конкурентоспособной. Одной из важнейших составляющих системы стимулирования является оценка результативности деятельности работника. Оценка результативности может быть мотивационной, если дает оцениваемому определенное понимание того, чего от него ожидают. В рассматриваемом механизме стимулирования для определения вклада отдельного сотрудника трудового коллектива используется оценка выполнения сотрудниками своих должностных инструкций или объемов работ в процентах по отношению к максимально полному объему.

### **Описание ситуации**

В игре исследуется поведение коллектива, состоящего из шести сотрудников и руководителя. Рассматривается ситуация, в которой действия игроков  $x_i$ ,  $i \in N$ , представляют собой векторы, а процедура определения вознаграждения основывается на определении трудовых вкладов игроков в общий результат деятельности. Это связано с тем, что достаточно часто встречается ситуация, когда агент в коллективе осуществляет несколько видов деятельности в соответствии со своей должностной инструкцией и для определения вклада отдельного агента в общий результат всего коллектива используется устанавливаемая центром оценка выполнения агентами своих должностных инструкций. Причем в силу разного количества пунктов в должностных инструкциях агентов, разнонаправленности деятельности по выполнению этих пунктов, сроков выполнения работ, сразу определить оценку деятельности достаточно сложно. Но при этом существует возможность сформировать набор оценок, характеризующих выполнение работы по каждому пункту должностной инструкции. И отсюда сразу же вытекает задача построения результирующей или комплексной оценки эффективности деятельности каждого агента. Оценка эффективности труда главным образом определяется существующей в коллективе системе ценностей и приоритетов. Отражением этой системы в виде некоторых процедур, позволяющих определить полезность каждого работника, служат различные методики определения эффективности труда.

### **Цель игры**

Эта игра разработана для оценки эффективности системы стимулирования и обучения сотрудников коллектива подразделения фирмы.

### Задача Центра

На основе полученных игроками оценок за выполнение ими каждого пункта должностной инструкции выбрать процедуру формирования комплексной оценки деятельности игроков, с учетом которой разработать процедуру формирования коэффициента трудового участия (КТУ) и распределения премиального фонда.

### Задача игроков

Зная процедуру формирования результирующей оценки деятельности и механизм стимулирования получить такие оценки за выполнение каждого пункта должностной инструкции, чтобы максимизировать значение своей целевой функции.

### Модель

В связи с тем, что игроки осуществляют различные виды деятельности, для определения их вклада или комплексной оценки не может использоваться арифметическая сумма результатов их деятельности, поэтому для определения КТУ и распределения премиального фонда  $\Phi$  центр оценивает деятельность каждого агента по выполнению им своих должностных обязанностей в процентах по отношению к наилучшему результату. Считается,  $i$ -ый игрок выполняет  $b_i$  видов деятельности и что максимальный результат, который может быть достигнут игроком при выполнении  $j$ -го вида деятельности, равен  $M_{ij}$ ,  $i \in N$ ,  $j = 1, \dots, b_i$ . Если выбранное действие игрока или его фактический результат равен  $x_{ij}$  то оценка выполнения этого вида деятельности будет равна

$$O_{ij} = \frac{x_{ij}}{M_{ij}} 100\%, \quad i \in N, j = 1, \dots, b_i.$$

Результирующая оценка деятельности  $O_i^{(p)}$  выполнения всех пунктов должностной инструкции  $i$ -го агента определяется выражением

$$O_i^{(p)} = \omega_i(O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{ib_i}), \quad i \in N,$$

где  $\omega_i$  – функция свертки.

В дальнейшем также будем полагать, что индивидуальные затраты агента линейны и сепарабельны. При получении  $i$ -ым игроком оценки  $O_{ij}$  его затраты представляются в виде

$$z_{ij} = \frac{O_{ij}}{r_{ij}}, \quad j = 1, \dots, b_i.$$

Соответственно, полные затраты агента  $z_i$  при выполнении всех пунктов должностной инструкции определяются как

$$z_i = \sum_{j=1}^{b_i} \frac{O_{ij}}{r_{ij}}, \quad i \in N.$$

Построив результирующую оценку  $O_i^{(p)}$  центр определяет КТУ как



$$\delta_i = \frac{\omega_i(O_{i1}, \dots, O_{ib_i})}{\sum_{j=1}^n \omega_j(O_{j1}, \dots, O_{jb_j})}$$

Целевая функция  $i$ -го игрока записывается в виде

$$f_i = \frac{\omega_i(O_{i1}, \dots, O_{ib_i})}{\sum_{j=1}^n \omega_j(O_{j1}, \dots, O_{jb_j})} \Phi - \sum_{j=1}^{b_i} \frac{O_{ij}}{r_{ij}}, \quad i \in N.$$

Будем считать, что эффективность системы симулирования при наличии многих видов деятельности будет определяться суммой оценок, полученных агентами за каждый вид деятельности, то есть

$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{b_i} O_{ij}.$$

#### Анализ модели

В предлагаемом варианте игры в качестве результирующей оценки деятельности  $i$ -го игрока рассматривается минимальное значение из всех оценок

$$\omega_i(O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{ib_i}) = \min_j \{O_{ij}\}.$$

Пусть

$$O_i^{(m)} = \min\{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{ib_i}\}, \quad i \in N.$$

Целевая функция игрока в этом случае записывается в виде

$$f_i = \frac{O_i^{(m)}}{\sum_{j=1}^n O_j^{(m)}} \Phi - \sum_{j=1}^{b_i} \frac{O_{ij}}{r_{ij}}, \quad i \in N.$$

В ситуации равновесия по Нэшу значение минимальной оценки  $i$ -го игрока равно

$$O_i^{(m)} = \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{H_j}} \Phi \left( 1 - \frac{b_i}{H_i} \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{H_j}} \right), \quad i \in N.$$

А суммарная оценка  $i$ -го игрока по выполнению  $b_i$  пунктов должностной инструкции,  $i \in N$  определяется как

$$O_i^{(2)} = b_i O_i^{(m)} = b_i \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{H_j}} \Phi \left( 1 - \frac{b_i}{H_i} \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{H_j}} \right), \quad i \in N.$$

Отсюда видно, что эффективность системы симулирования для этого случая, определяется выражением

$$K = (n-1) \Phi \sum_{i=1}^n x_i H_i [1 - (n-1)x_i].$$

где  $x_i = \frac{b_i}{H_i \sum_{j=1}^n \frac{b_j}{H_j}}$ ,  $i \in N$ ,  $H_i = \frac{b_i}{\sum_{j=1}^{b_i} \frac{1}{r_{ij}}}$  – среднее гармоническое

показателей квалификации  $i$ -го игрока по выполнению  $b_i$  пунктов должностной инструкции  $i \in N$ .

### Результаты игры

В игре предполагается, что количество пунктов в должностной инструкции первого, второго и третьего игроков – восемь, четвертого, пятого и шестого игроков – семь. Значения коэффициентов квалификации игроков представлены в табл. 15.1.

Табл. 15.1. Результаты игры  
«Стимулирование за выполнение нескольких видов деятельности»

Игрок №	$r_{i1}$	$r_{i2}$	$r_{i3}$	$r_{i4}$	$r_{i5}$	$r_{i6}$	$r_{i7}$	$r_{i8}$
1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
2	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
3	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,85	4,85
4	5,00	5,00	5,00	4,35	4,00	3,70	3,70	-
5	5,00	5,00	4,35	4,35	4,00	4,00	4,00	-
6	5,00	5,00	4,63	4,63	4,00	3,85	3,70	-

Имитационная игра проводилась в режиме, когда действия каждого игрока выполняли автоматы. Алгоритм выбора решений автоматом, который используется в игре, основывается на аксиоме индикаторного поведения. Значения коэффициентов  $\gamma$  были соответственно равны  $\gamma_1 = 0,3$ ,  $\gamma_2 = 0,4$ ,  $\gamma_3 = 0,5$ ,  $\gamma_4 = 0,6$ ,  $\gamma_5 = 0,7$ ,  $\gamma_6 = 0,8$ .

Стратегии игроков представлены на графике, изображенном на рис. 15.3. Как видно из этого рисунка, стратегии игроков после пятнадцати партий сошлись в равновесную ситуацию по Нэшу. А изменение эффективности системы стимулирования представлено на графике, изображенном на рис. 15.4.

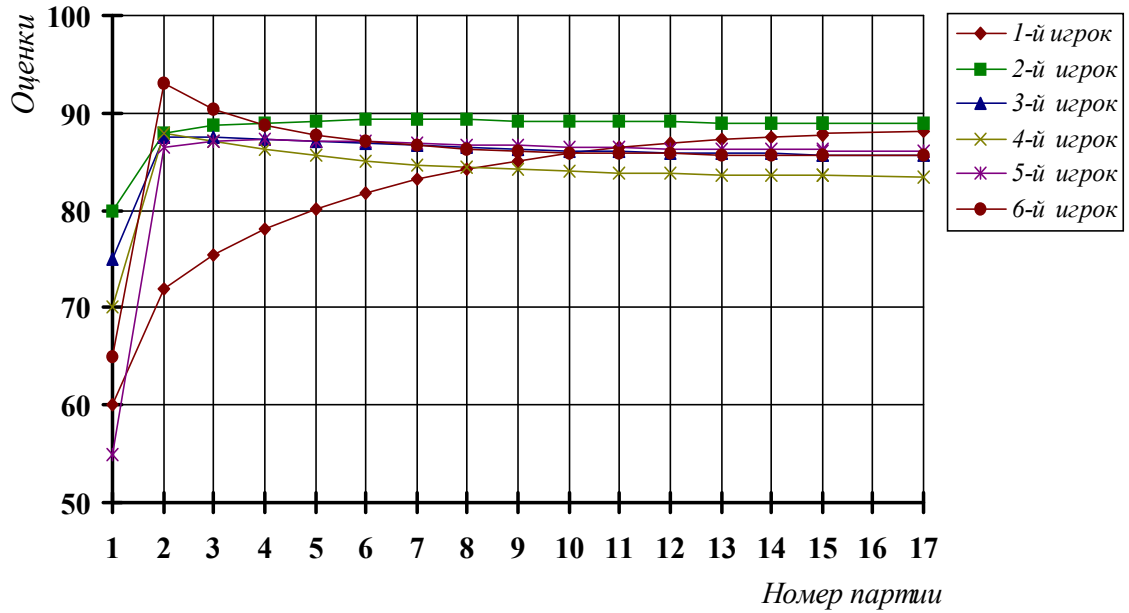


Рис. 15.3. Изменение стратегий игроков в игре «Стимулирование за выполнение нескольких видов деятельности»

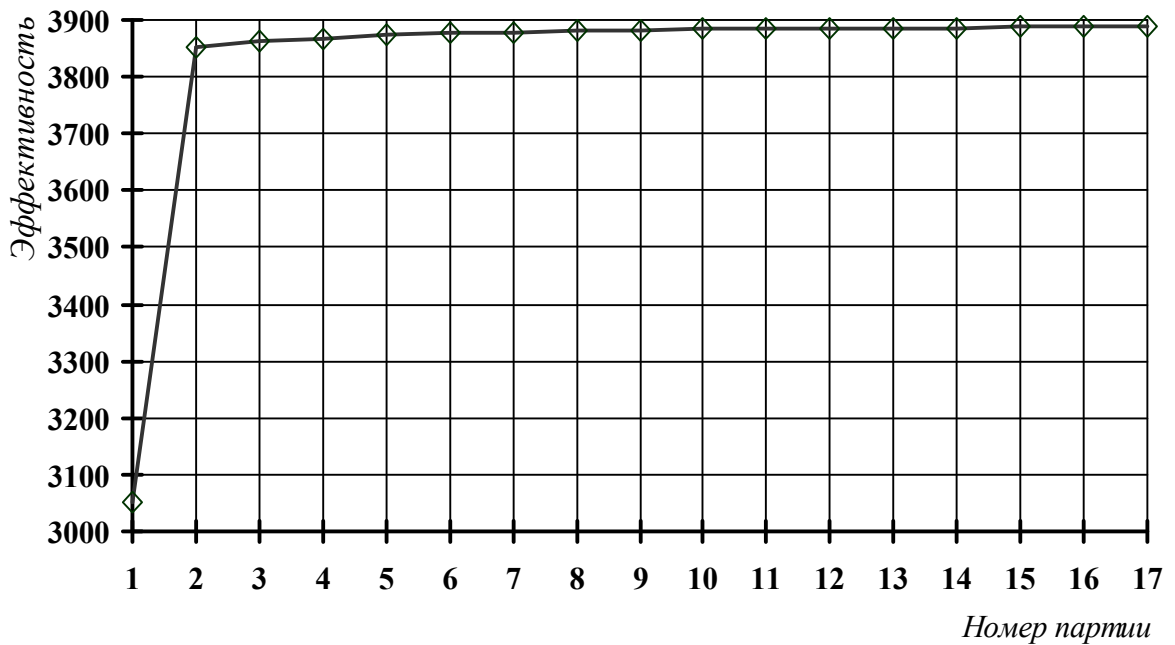


Рис. 15.4. Изменение эффективности системы стимулирования в игре «Стимулирование за выполнение нескольких видов деятельности»

#### Анализ результатов

Анализ показывает, что эффективность системы стимулирования после семи партий стала практически равна теоретически рассчитанной.

Имитационные игры используются также для анализа не только механизмов стимулирования, но и механизмов управления в других предметных областях, например, в

управлении эколого-экономическими системами [24].

### Имитационная игра «Механизмы платы за риск»

#### Описание игры

В данной игре предполагается, что затраты  $i$ -го игрока (предприятия) по достижению уровня безопасности  $y_i$  равны [23, 24]:

$$\varphi_i = \frac{y_i^2}{2r_i}.$$

Если  $i$ -му предприятию установлен уровень безопасности  $y_i$ , то затраты этого предприятия на достижение уровня безопасности  $y_i$  и плата за риск, равный  $1 - y_i$ , равны

$$z_i(y_i) = \lambda(1 - y_i) + \frac{y_i^2}{2r_i}.$$

Естественно предположить, что каждое предприятие стремится сократить эти затраты. Поэтому, примем, что целевой функцией игроков является функция затрат.

На этапе сбора данных каждый игрок сообщает ведущему игры (центру) информацию, необходимую для формирования уровня безопасности (УБ). Считается, что центру известен только отрезок возможных значений параметра  $r_i \in [d_i, D_i]$ ,  $i \in Q$ . Поэтому игроки, зная процедуру формирования плановых уровней безопасности  $y_i$  и норматива  $\lambda$ , сообщают центру оценки  $s_i$  параметра  $r_i$ , позволяющие им, по их мнению, уменьшить значение своей целевой функции.

На этапе планирования ведущий, исходя из значения  $X$  интегрального (регионального) УБ определяет значения плановых уровней безопасности  $y_i$  и норматива  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{X}{\sum_{i=1}^n s_i}.$$

$$y_i = \lambda s_i, \quad i \in Q.$$

И, наконец, на этапе реализации игроки подсчитывают значения своих целевых функций.

На этом партия игры завершается, и игроки переходят к следующей партии, то есть опять сообщают ведущему необходимую информацию, ведущий формирует плановые уровни безопасности и значения норматива  $\lambda$ , и игроки подсчитывают значения своих целевых функций и т.д.

#### Результаты игрового эксперимента

Игра заканчивается, когда стратегии игроков сходятся в некоторые равновесные ситуации. По стратегиям игроков в равновесной ситуации можно судить об эффективности исследуемого экономического механизма. Победителем считается тот игрок, у которого суммарное значение целевой функции за все партии игры оказалось наименьшим.

В приведенных ниже результатах игрового эксперимен-

та участвовали четыре игрока-автомата ( $n = 4$ ). Региональный уровень безопасности в игре был равен 3 ( $X = 3$ ). Значения параметров  $r$  были :  $r_1 = 1,5$ ,  $r_2 = 1,5$ ,  $r_3 = 2,5$ ,  $r_4 = 2,5$ . Оценка  $s$  параметра  $r$ , сообщаемая игроками ведущему игры (центру), находилась в пределах  $s \in [0,4; 4]$ . Автоматы формировали свою информацию для центра в соответствии с гипотезой индикаторного поведения.

Значения коэффициентов  $\gamma_i^k$  были одинаковыми для всех периодов:  $\gamma_1 = 0,3$ ,  $\gamma_2 = 0,5$ ,  $\gamma_3 = 0,2$ ,  $\gamma_4 = 0,4$ , а положение цели  $i$ -го автомата в  $k$ -й партии определялось выражением

$$\tilde{s}_i^k = \frac{\sigma_i^k r_i (1 + X)}{r_i X + \sigma_i^k X - r_i},$$

где  $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n s_j^k - s_i^k$ .

Стратегии игроков представлены на рис. 15.5.

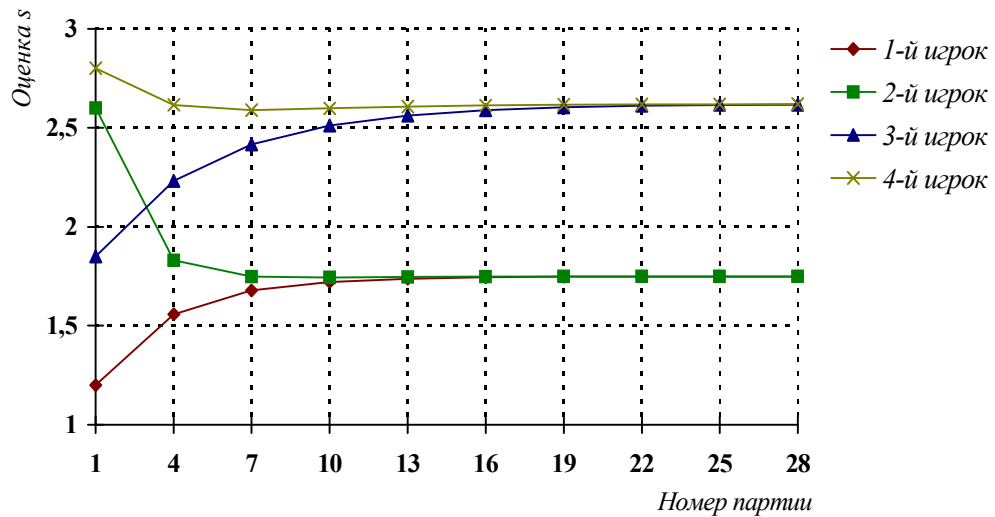


Рис. 15.5. Изменение стратегий игроков в игре «Механизмы платы за риск»

Из рис. 15.5 следует, что примерно за девятнадцать партий стратегии автоматов сошлись в равновесную ситуацию, и  $s_1^* = s_2^* = 1,75$ , а  $s_3^* = s_4^* = 2,62$ , в то время как теоретический расчет значений оценок  $s_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , в ситуации равновесия при выполнении гипотезы слабого влияния показывал совпадение оценок  $s_i^*$  с истинными значениями  $r_i$ . Таким образом, расхождение равновесных значений  $s_i^*$  и истинных значений  $r_i$  составило для первых двух автоматов 14,3 %, и 4,6 % для других двух автоматов.

На рис. 15.6 приведен график изменения норматива  $\lambda$ .

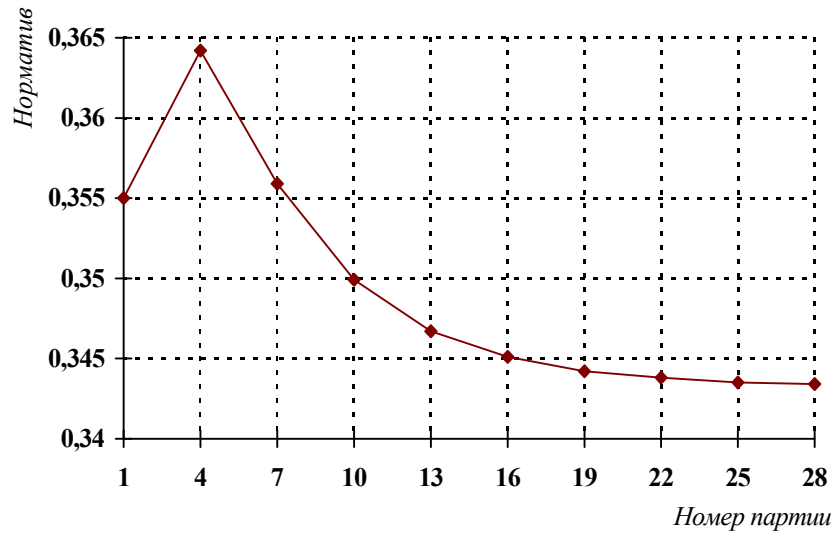


Рис. 15.6. Изменение норматива в игре «Механизмы платы за риск»

Из рис. 15.6 следует, что в ситуации равновесия норматив  $\lambda$  принимает минимальное значение, равное 0,343, в то время как теоретически рассчитанное значение норматива равно 0,375.

На рис. 15.7 приведены графики изменения затрат игроков на достижение заданного уровня безопасности и плату за риск. А на рис. 15.8 изображен график изменения суммарных затрат на достижение в регионе уровня безопасности  $X = 3$ .

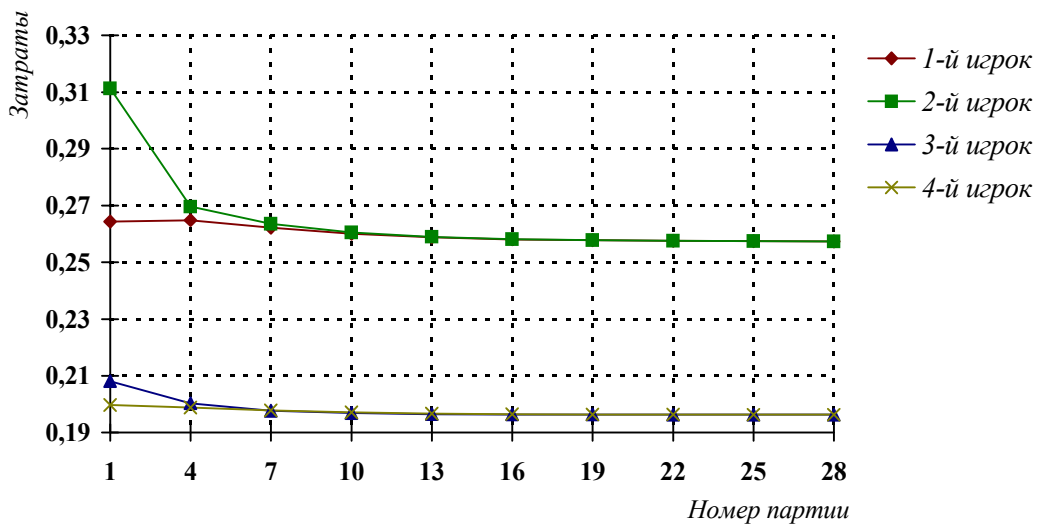


Рис. 15.7. Изменение затрат игроков в игре «Механизмы платы за риск»

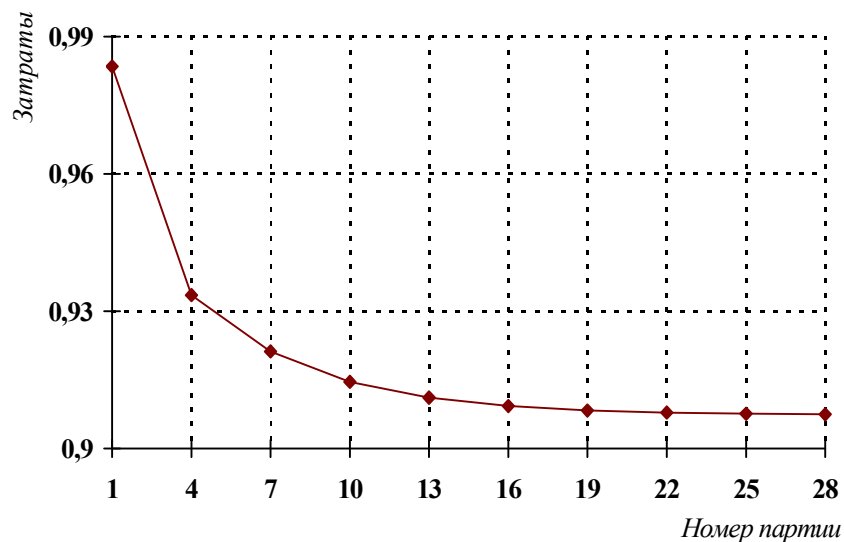


Рис. 15.8. Изменение суммарных затрат на обеспечение заданного уровня безопасности в регионе

Из рис. 15.7 и 15.8 следует, что в ситуации равновесия суммарные затраты на достижение заданного уровня безопасности и плата за риск всех игроков и каждого игрока в отдельности принимают минимальные значения.

В заключение настоящей главы отметим, что набор онлайн-овых имитационных моделей механизмов управления можно найти на сайте [www.mtas.ru](http://www.mtas.ru).

## 15.5. Литература к главе 15

(работы, отмеченные звездочкой, можно найти в свободном доступе на сайте теории управления организационными системами [www.mtas.ru](http://www.mtas.ru))

1. Пономарев Ю.П. Игровые модели. Математические методы, психологический анализ. – М. Наука, 1991.
2. Давыдов Э.Г. Методы и модели теории антагонистических игр. – М. Изд. МГУ, 1978.
3. Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970.
4. Геронимус Ю.В. Игра, модель, экономика. – М.: Знание, 1989.
5. Ефимов В.Н., Комаров В.Ф. Введение в управленческие имитационные игры. – М.: Наука, 1980.
6. Riceiardi F.M. et al. Top Management Decision Simulation: the AMA Approach. – N.Y.: American Management Association, 1957.
7. Бирштейн М.М. Вычислительная техника и метод деловых игр // Механизация и автоматизация производства». 1968. № 10.
8. Комаров В.Ф. Применение имитационных игр в исследованиях // Экономика и математические методы. 1991. том 27. вып.1.

9. Емельянов С.В., Бурков В.Н., Ивановский А.Г. и др. Метод деловых игр. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1976.
10. Бурков В.Н., Ивановский А.Г., Немцева А.Н., Щепкин А.В. Деловые игры. – М.: Институт проблем управления, 1977.
11. Бурков В.Н., Ивановский А.Г., Малевич А.А. и др. Методическое руководство к проведению деловой игры «План». – М.: Московский институт стали и сплавов, 1983.
12. Бурков В.Н., Ивановский А.Г., Немцева А.Н. и др. Деловые игры в принятии управленческих решений. Учебное пособие. – М.: Московский институт стали и сплавов, 1986.
13. Кузьмицкий А.А., Щепкин А.В. Разработка деловых игр по управлению проектами. – М.: ИПУ РАН, 1994.
14. Гуреев А.Б., Динова Н.И., Кулжабаев Н.М., Щепкин А.В. Учебные автоматизированные деловые игры. – М.: ИПУ РАН, 1999.
15. Бабкин В.Ф., Баркалов С.А., Щепкин А.В. Деловые имитационные игры в организации и управлении. Учебное пособие. – Воронеж: ВГАСУ, 2001.
16. Курс экономической теории под ред. Чепурина М.М., Киселевой Е.А. – Киров: Изд. «АСА», 1995.
17. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделирование биологических систем. – М.: Наука, 1969.
18. Пospelов Д.А. Игры и автоматы. – М.: Энергия, 1966.
19. Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. – М.: Наука, 1973.
20. \* Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. – М.: Наука, 1977.
21. \* Щепкин А.В. Внутрифирменное управление (модели и механизмы) / Учебное пособие. – М.: ИПУ РАН, 2001.
22. \* Иващенко А.А., Новиков Д.А., Щепкина М.А. Модели и механизмы многокритериального стимулирования в организационных системах. – М.: ИПУ РАН, 2006.
23. Половинкина А.И., Толстых А.В., Уандыков Б.К., Щепкин А.В. Игровое моделирование экономических механизмов обеспечения безопасности. – М.: ИПУ РАН, 2003.
24. \* Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М.: Физматлит, 2008.