

В. В. Кондратьев, А. В. Щепкин

РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕЛОВЫХ ИГР НА ЭВМ

Имеются веские основания для того, чтобы при организации деловых игр [1] обращаться к вычислительной технике. Наиболее важные из них заключаются в следующем: моделируемая ситуация может быть достаточно сложной и требовать большого объема вычислений; требование оперативности проведения игры накладывает ограничение на скорость выполнения необходимых вычислительных операций; необходимость хранения и накопления получаемой в ходе делового эксперимента информации с последующей обработкой ее и выводом в удобном для пользования виде (графики, таблиц и т. п.); выполнение при проведении игры вспомогательных промежуточных расчетов (хотя бы и не сложных) и представление "готовых" конечных результатов участникам и организаторам игры помогает избежать утомляемости участников эксперимента, потери интереса к игре и т. д.; требования простоты и оперативности сбора и представления необходимых данных удовлетворяются путем использования удаленных устройств

оперативного ввода/вывода данных — видеотерминалов и

телетайпов. Кроме того, по нашим наблюдениям, проведение деловых игр с использованием ЭВМ в режиме диалога создает обстановку, в которой участники игры относятся с большей ответственностью к своим действиям, что, безусловно, повышает качество результатов игры.

Таким образом, использование ЭВМ при организации деловых игр позволяет удовлетворить ряд серьезных требований, предъявляемых к конструированию и проведению деловых игр. При этом ЭВМ должны иметь достаточное быстродействие, емкую оперативную и внешнюю память и, что особенно важно, устройства оперативного ввода/вывода данных с развитым логическим обеспечением для работы на них. В классе универсальных вычислительных машин этим требованиям наиболее полно удовлетворяют машины третьего поколения.

Ниже кратко описаны процедуры проведения деловых игр "Ресурс" и "Загрузка производства" [2,3], с использованием ЭВМ в режиме диалога, и некоторые результаты, полученные при их реализации.

Реализация деловых игр была осуществлена для случая двухуровневой иерархической активной системы (АС). Каждый период функционирования АС включал три этапа: формирование данных, планирование и **реализацию** плана [4]. Для проведения деловых игр на ЭВМ были составлены программы, последовательно моделирующие названные этапы. Оценки, сообщаемые участниками игры, вводились в машину через видеотерминал (этап формирования данных). На основе введенных данных по специальной программе решалась задача оптимального планирования. Сведения о назначаемых планах и ценах, величины выигрышей участников игры выводились на телетайпы отдельно для каждого участника (этап реализации плана).

При конструировании игры была выявлена необходимость участия в проведении игры диспетчера. В функции диспетчера в реализованных играх входило: задание параметров моделируемой системы и оперативное изменение их в случае необходимости; визуальный контроль (наряду с программным) сообщаемых участниками игры данных. Кроме того, практика проведения деловых игр с использованием вычислительной техники в режиме диалога показывает, что диспетчер должен иметь возможность изменять локализацию управления в программе, то есть оперативно активизировать тот или иной блок управляющей программы, например, начало управляющей программы (начало игры), конец управляющей программы (конец игры), блок посылки дополнительной справочной информации участникам игры, блок обработки результатов делового эксперимента и др.

Ввод данных в реализованных играх осуществляется путем ответов на запросы, выводимых на **videoterminaly** диспетчера игры. Форма запросов диспетчера и форма сообщений, выводимых для участников на телетайпы и диспетчера на видеотерминал, определялись на этапе конструирования игры из соображений удобства и простоты представления данных.

Общая схема машинной реализации деловых игр представлена на рис. I. Участники игры обозначены здесь как активные элементы (АЭ), центральный орган – ЦО. Проведение каждой партии игры занимало полторы–две минуты*. Деловые игры проводились с участием студентов МФТИ.

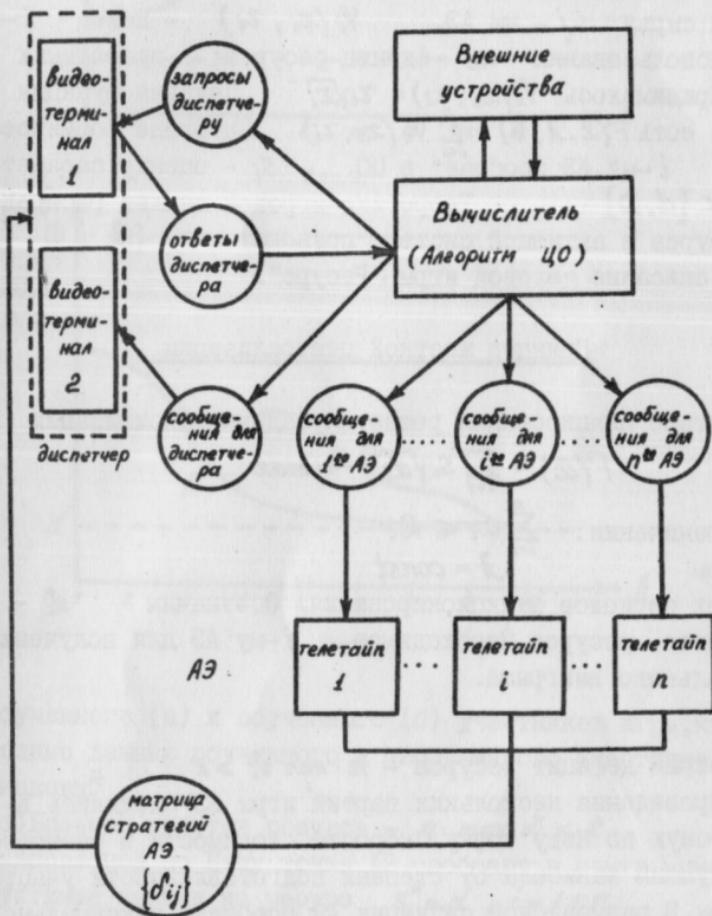


Рис. I.

* Если деловая игра требует большого объема вводимых данных, целесообразно ввод данных осуществлять непосредственно самим участникам игры через телетайпы.

I. Реализация деловой игры "Ресурс"

в активной системе ресурс R распределяется между n потребителями (АЭ). Целевая функция i -го АЭ имеет вид $\eta_i(x_i, \lambda, r_i) = \varphi_i(x_i, r_i) - \lambda x_i$, где x_i - количество ресурса, выделяемое i -му АЭ, λ - стоимость единицы ресурса,

r_i - коэффициент, характеризующий эффективность переработки сырья i -ым АЭ, $\varphi_i(x_i, r_i)$ - доход i -го АЭ от использования x_i единиц ресурса; в проводимых играх принималось $\varphi_i(x_i, r_i) = r_i \sqrt{x_i}$. Целевая функция системы есть $F(\bar{x}, \lambda, \bar{r}) = \sum_{i=1}^n \eta_i(x_i, r_i)$. На этапе формирования данных i -ый АЭ сообщает в ЦО s_i - оценку параметра r_i , $s_i \in [d, D]$. Теоретико-игровой анализ распределения ресурса в активной системе приводится в [5]. В [2]дается описание деловой игры "Ресурс".

Принцип жесткой централизации

На этапе планирования решается задача максимизации

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n s_i \sqrt{x_i} \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничении: $\sum_{i=1}^n x_i \leq R$. (2)
При этом $\lambda = \text{const}$

для всех периодов функционирования. Обозначим \bar{v}_i - количество ресурса, необходимое i -му АЭ для получения максимального выигрыша.

а) Острый дефицит ресурса - $n \cdot \min_i v_i > R$.

После проведения нескольких партий игры АЭ сходились в равновесную по Нэшу точку. Скорость сходимости в равновесную ситуацию зависела от степени подготовленности участников игры. В равновесной ситуации АЭ сообщали максимально возможные заявки на ресурс, $s_i^* = D$, $i = 1 \dots n$. Рис.2 качественно характеризует сходимость в равновесную точку

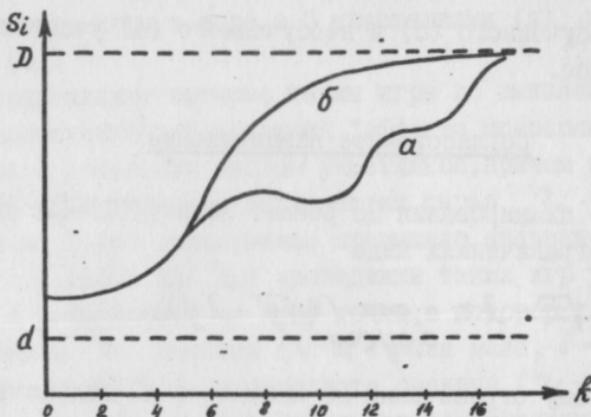


Рис.2.

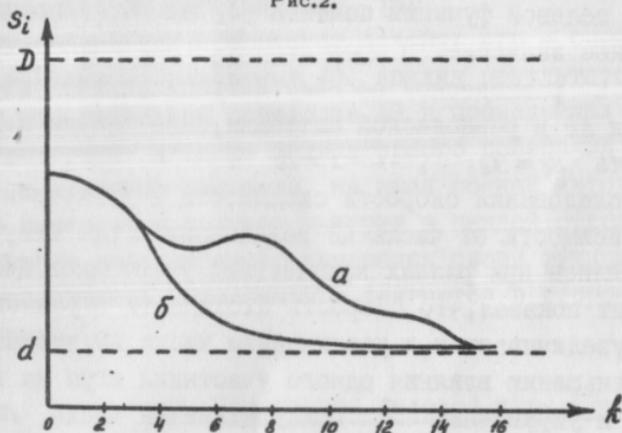


Рис.3.

необученного (а) и обученного (б) участников игры, когда исходные данные обученного и необученного участников игры одинаковы.*

б) Большой избыток ресурса — $n \cdot \max_i v_i \leq R$

В равновесной по Нэшу точке АЭ сообщают в центр минимально допустимые заявки на ресурс $S_i^* = d$, $i = 1 \dots n$

Рис.3 качественно характеризует сходимость в равновесную

* Здесь и далее по оси ординат отложено значение оценок, сообщаемых участниками игры, по оси абсцисс — номер партии игры.

точку для обученного (б) и необученного (а) участников игры в этом случае.

Согласованное планирование

На этапе планирования ЦО решает задачу (I)-(2) при дополнительных ограничениях вида

$$s_i \sqrt{x_i} - \lambda x_i = \max_{0 < y < \infty} (s_i \sqrt{y} - \lambda y). \quad (3)$$

Согласно этому ограничению ЦО назначает АЭ только те планы, при которых функция предпочтения (здесь это функция, полученная из целевой функции заменой s_i на s_i') принимает максимальное значение. В проведенных играх участники игры сходились к равновесной по Нэшу ситуации, причем информация, сообщаемая АЭ в равновесной ситуации, была близка к достоверной, то есть $s_i' \approx \tau_i$, $i = 1 \dots n$.

Для исследования скорости сходимости к равновесной ситуации в зависимости от числа АЭ реализации игры "Ресурс" осуществлялись при разных количествах участников. Деловой эксперимент показал, что скорость сходимости в равновесную ситуацию увеличивается с увеличением числа АЭ, что соответствует уменьшению влияния одного участника игры на величину плана x_i и управления λ при увеличении числа n АЭ в системе. На рис. 4 приведены графики стратегий одного из

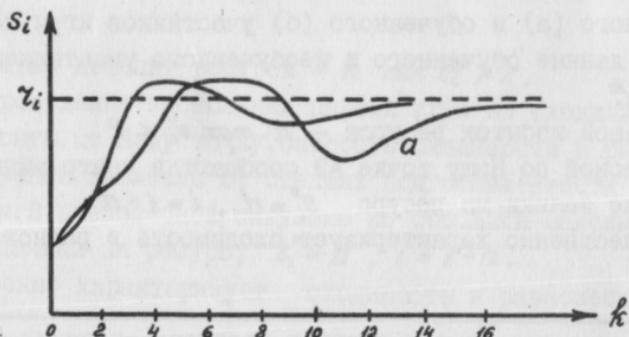


Рис.4.

участников игры в игре с 3 участниками (а), и с 7 участниками (б).

Представляют интерес также игры по выявлению в условиях согласованного планирования "эффекта монополии". Игры проводились с небольшим числом участников, причем значение коэффициента эффективности переработки сырья γ_i одного из АЭ (скажем, 1-го) существенно превышало значение коэффициентов

γ_i остальных АЭ. При проведении таких игр участники сходились к равновесной по Нэшу точке, в которой для АЭ с меньшим значением γ_i разница $(\gamma_i - s_i^*)$ была мала, $i = 2, \dots, n$, а для участника игры-монополиста разница $(\gamma_1 - s_1^*)$ могла быть значительной. Этот результат соответствует невыполнению условия слабого влияния [5].

Одна из целей проведения деловых игр – определение критерия локального поведения АЭ. Анализ результатов игр показывает, что локальное поведение АЭ в проведенных играх "Ресурс" соответствует аксиоме индикаторного поведения (аксиома ИП)

[5] : активные элементы, не имея полной информации о функциях выигрыша и получая выигрыш в каждой отдельной партии, оценивают лишь характер изменения своей функции выигрыша по собственной переменной и двигаются в сторону увеличения выигрыша.

2. Реализация деловой игры "Загрузка производства"

Анализ ситуации равновесия в АС для задачи загрузки приводится в [6]. В [3] описан деловой эксперимент по согласованной загрузке прокатных станов. Приведенные здесь результаты касаются динамики поведения АЭ в двухуровневой активной системе, решающей задачу загрузки производственных мощ-

ностей и содержащей ЦО и n поставщиков продукции (АЭ). Модель i -го АЭ описывается вектором $\bar{z}_i = \{z_{ij}\}, j=1 \dots m$, где z_{ij} - производительность i -го АЭ по производству j -го сортамента. Время работы $\sum_{j=1}^m x_{ij}$ i -го АЭ в каждом периоде k функционирования ограничено величиной T_i , целевая функция i -го АЭ имеет вид $\eta_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j z_{ij} x_{ij}$ и представляет доход i -го АЭ. Целевая функция ЦО имеет вид $F = \min_k (\sum_{i=1}^n \eta_i)$ и характеризует выпуск продукции, сбалансированный в заданном отношении. Без ограничения общности B_j - потребность в сортаменте j -го вида принималась равной единице. На этапе формирования данных i -ый АЭ сообщает в ЦО $\bar{s}_i = \{s_{ij}\}$ оценку $\bar{z}_i = \{z_{ij}\}$.

Если при данной матрице $s^k = (\bar{s}_1^k, \bar{s}_2^k, \dots, \bar{s}_n^k)$ план x_{opt}^k , дающий решение задачи оптимального планирования в k -ом периоде функционирования, не единственен, то есть существует множество Γ^k оптимальных планов, то из этой совокупности выбирается план по следующему критерию:

$$\|x_{opt}^{k-1} - x_{opt}^k\| \xrightarrow{x_{opt}^k \in \Gamma^k} \min,$$

где x_{opt}^{k-1} - план, принятый в качестве оптимального в $(k-1)$ периоде, то есть выполняется правило устойчивости назначений [7]

Принцип жесткой централизации без штрафа

На этапе планирования решается задача максимизации

$$F = \min_j (\sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij}) \rightarrow \max \quad (4)$$

при ограничениях: $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq T_i$ (5)

Управление $\bar{\lambda}$ не меняется при переходе от одного периода функционирования к другому.

В проведенных играх участники игры сходились к ситуациям, равновесным по Нэшу. Как следует из приведенного ниже примера, информация, сообщаемая участниками игры, в равновесных ситуациях может быть далека от достоверной.

В игре моделировалась система с параметрами

$$n=4, m=2, \tau = \begin{pmatrix} 10 & 1 \\ 10 & 5 \\ 2 & 10 \\ 1 & 10 \end{pmatrix}, \bar{T} = \begin{pmatrix} 10 \\ 30 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix}, \bar{\lambda} = (0, 1; 0, 9).$$

Ограничения на стратегии: $1 \leq s_{ij} \leq 20$, $i=1 \div 4$, $j=1, 2$.

Участники игры за 4 партии пришли к равновесной по Нэшу ситуации s^* , $s^* \neq \tau$:

$$s^* = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 5 а и 5 б иллюстрируют сходимость к равновесной точке I-го и 2-го игроков, соответственно.

Принцип жесткой централизации со штрафами

В предположении, что на этапе реализации плана значения производительности τ_{ij} становятся известными ЦО, в целевую функцию АЭ была введена составляющая штрафа, определяемая разностью достигнутой величины производительности и сообщенной оценки этой величины s_{ij} :

$$\zeta_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j (\tau_{ij} - \alpha | \tau_{ij} - s_{ij} |) x_{ij}, \text{ где } 0 \leq \alpha < 1. \quad (6)$$

Как и в предыдущем случае, участники игры сходились к ситуации, равновесной по Нэшу; достоверность сообщаемой информации и в этом случае не гарантируется.

Параметры моделируемой системы:

$$n=4, m=2, \tau = \begin{pmatrix} 1 & 6 \\ 1 & 6 \\ 1 & 6 \\ 1 & 6 \end{pmatrix}, \bar{T} = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix}, \bar{\lambda} = (0.4, 0.6).$$

Ограничения на стратегии: $1 \leq s_{ij} \leq 10$, $i=1 \div 4$, $j=1, 2$.

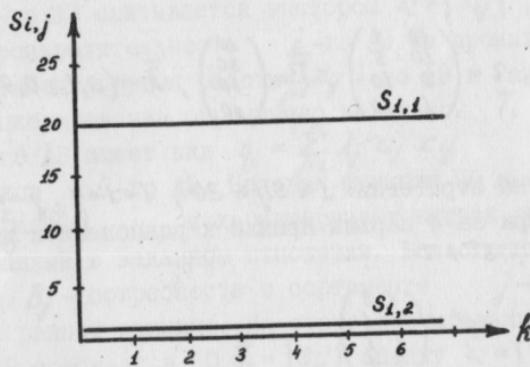


Рис.5 а.:

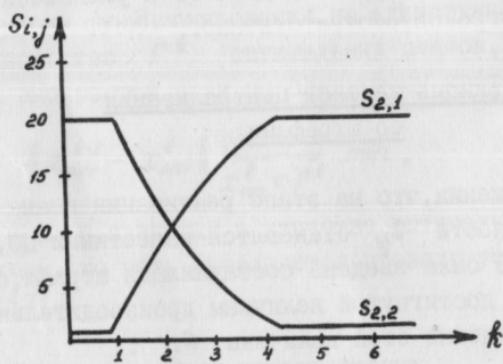


Рис.5 б.

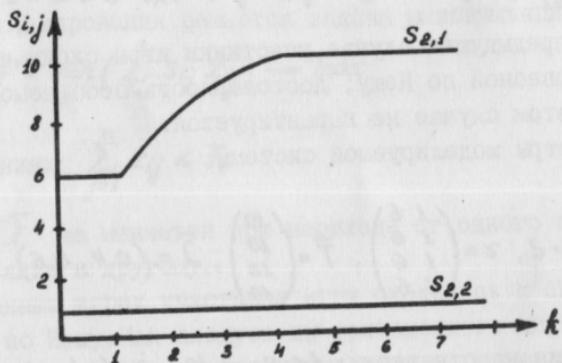


Рис.6.

За 4 партии игры участники сошлись к равновесной по Нэшу точке s^* , $s^* \neq \tau$.

$$s^* = \begin{pmatrix} 1 & 10 \\ 1 & 10 \\ 1 & 10 \\ 1 & 10 \end{pmatrix}$$

Рис.6 иллюстрирует сходимость I-го участника игры к равновесной по Нэшу точке.

Локальное поведение активных элементов в играх "Загрузка производства" в условиях принципа жесткой централизации соответствовало аксиоме ИП.

Принцип согласованного планирования без штрафов

На этапе планирования решалась задача (4)-(5) с дополнительными ограничениями вида

$$(x_j s_{ij} - \max_i x_i s_{il}) x_{ij} = 0 \quad (7)$$

(так называемое условие совершенного согласования [6]).

При моделировании системы с параметрами

$$n=4, m=2, \tau = \begin{pmatrix} 10 & 40 \\ 10 & 40 \\ 40 & 10 \\ 40 & 10 \end{pmatrix}, \bar{T} = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix}, 1 \leq s_{ij} \leq 100, i=1 \div 4, j=1, 2$$

участники игры сходились к равновесной точке s^* , $s^* \neq \tau$

$$s^* = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Рис.7 иллюстрирует сходимость к равновесной точке стратегии 4-го участника игры. Графики стратегий других участников игры качественно аналогичны приведенному на рис.7.

Попытаемся определить критерий локального поведения участников игры. Так как строгий анализ динамики поведения АЭ в рассматриваемой игре затруднителен, проведем обоснование поведения АЭ на "качественном" уровне. Предварительно приведем несколько замечаний относительно алгоритма решения задачи (4), (5), (7) для $m=2$.

Составим отношения $p_i = \frac{s_{i1}}{s_{i2}}, i = 1 \div n$ и упорядочим p_i и s_{ij} по i так, чтобы в новой нумерации

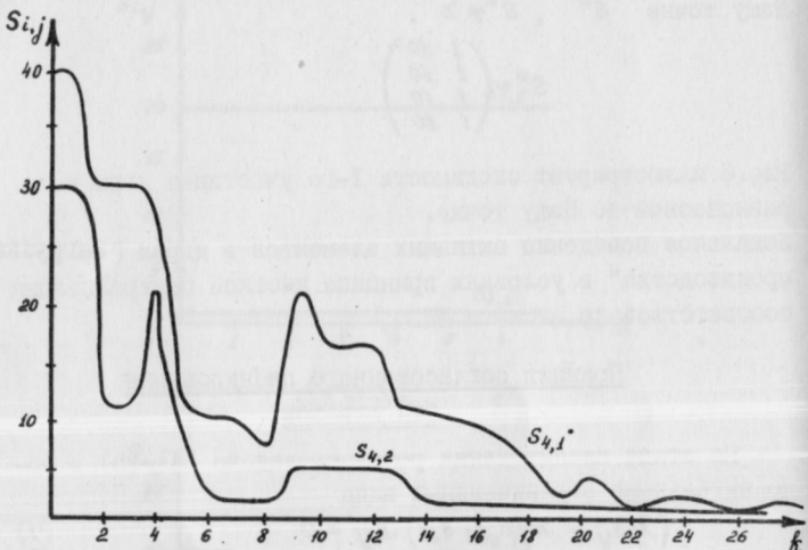


Рис.7.

выполнялась цепочка неравенств: $p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_n$

Тогда в новой нумерации план $\bar{x}(S)$, полученный из решения задачи (4), (5), (8), запишется как: $\bar{x}_i = (\bar{T}_i, 0)$,

$$i = 1 \div q ; \quad \bar{x}_i = (0, T_i) , \quad i = (q+2) \div n ,$$

$x_{q+1} = (x_{q+1,1}, x_{q+1,2})$, где q определяется из системы неравенств

$$\sum_{i=1}^q S_{i1} \bar{T}_i \geq \sum_{i=q+1}^n S_{i2} \bar{T}_i , \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{q+1} S_{i1} \bar{T}_i < \sum_{i=q+2}^n S_{i2} \bar{T}_i ,$$

а управление $\bar{\lambda}$ задается соотношениями

$$\lambda_1 = \frac{S_{q+1,2}}{S_{q+1,1} + S_{q+1,2}} , \quad \lambda_2 = \frac{S_{q+1,1}}{S_{q+1,1} + S_{q+1,2}} .$$

Имея это в виду, можно определить выигрыши, которые получают на этапе реализации плана АЭ, сообщая на этапе формирования данных матрицу стратегий $S = \{S_{ij}\}$

$$\eta_i = \lambda_1 z_{i1} T_i = \frac{s_{q+1,2}}{s_{q+1,1} + s_{q+1,2}} z_{i1} T_i, \quad i = 1 \div q,$$

$$\eta_i = \lambda_2 z_{i2} T_i = \frac{s_{q+1,1}}{s_{q+1,1} + s_{q+1,2}} z_{i2} T_i, \quad i = (q+2) \div n.$$

$$\eta_{q+1} = \lambda_1 z_{i1} T_i + \lambda_2 z_{i2} x_{q+1,2},$$

Покажем, что в предположении соответствия поведения АЭ аксиоме ИП стратегии АЭ в рассматриваемой игре имеют тенденцию уменьшаться. Рассмотрим поведение i -го АЭ в k -м периоде функционирования АС. Пусть для i -го АЭ выполняется условие $\lambda_1^{k-1} z_{i1} > \lambda_2^{k-1} z_{i2}$ и пусть i -й АЭ выбрал значение s_{i1}^k такое, что $s_{i1}^k < s_{i1}^{k-1}$. Допустим, что план i -го АЭ будет иметь вид $x_i = (T_i, 0)$.

для этого достаточно, чтобы выполнялось неравенство $\rho_i^k > \rho_{q+1}^{k-1}$, т.е. достаточно уменьшить s_{i2}^k .

Такой выбор s_i^k может привести к нарушению условий (9), что в свою очередь приводит к увеличению λ_1 , а значит и выигрышу i -го АЭ. Аналогичные рассуждения можно привести, если $\lambda_1^{k-1} z_{i1} < \lambda_2^{k-1} z_{i2}$. Т.к. в силу (9) всегда найдутся АЭ, применение которыми описанной процедуры выбора вектора \bar{s}_i^k приводит к нарушению условий (9) и увеличению их выигрыша, то в предположении выполнения аксиомы ИП значения стратегий АЭ s_{ij} должны иметь тенденцию уменьшаться, сходясь к равновесной точке (8), что соответствует приведенным результатам деловой игры.

Принцип согласованного управления со штрафами

На этапе планирования решалась задача (4), (5), (7). При отклонении сообщаемых оценок производительности s_{ij} от достигнутых значений z_{ij} АЭ: штрафовались, соответственно целевые функции АЭ, имели вид (6).

* При анализе стратегии i -го АЭ в k -м периоде предполагается, что $\bar{s}_j^k = \bar{s}_j^{k-1}, j = 1 \div n, j \neq i$.

В деловой игре моделировалась система с параметрами

$$n=4, m=2, \Sigma = \begin{pmatrix} 8 & 1 \\ 8 & 1 \\ 1 & 8 \\ 1 & 8 \end{pmatrix}, \bar{T} = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix}, \alpha = 0.9$$

$$1 \leq s_{ij} \leq 10, i=1 \div 4, j=1, 2.$$

При проведении игры сходимость стратегии участников игры и ситуации, равновесной по Нэшу, не наблюдалась.

На рис.8 в качестве иллюстрации поведения участников игры приведен график стратегии I-го участника.

Заметим, что в предположении соответствия локального поведения АЭ аксиоме ИП занижение стратегий s_{ij} , описанное выше, выгодно лишь до определенного момента, т.к. из-за введения условия штрафования по мере увеличения расхождения между сообщаемой оценкой параметров s_{ij} и ее действительным значением τ_{ij} увеличивается и штраф. При этом может наступить

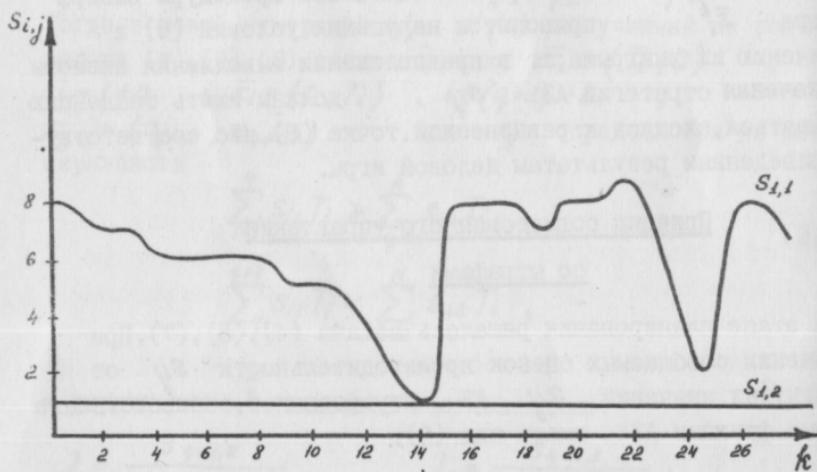


Рис.8.

такая ситуация, когда одному или нескольким участникам игры выгоднее применить стратегию $\bar{s}_i = \bar{\tau}_i$, чем продолжать игру "на занижение". Однако по мере приближения в пространстве стратегий точки s к точке τ вновь может стать выгодной игра "на занижение".

Анализ стратегий участников игры по партиям показывает, что в проведенной игре критерий локального поведения АЭ соответствует аксиоме ИП.

3. Деловые игры с автоматами

При реализации деловых игр на ЭВМ может быть полезным конструирование деловых игр, в которых в качестве участников выступают не только человек, но и автоматы. Критерий локального новедения автоматов в таких играх естественно определять из проведения "чистых" деловых игр с людьми. Проведение "смешанных" человеко-автоматных игр может решать, например, следующие задачи: реализация деловых игр с большим числом участников игры, в то время как проведение таких игр только с людьми может встретить технические и организационные трудности; обучение* участников игры поведению в моделируемых ситуациях на примере игр с автоматами; исследование вопроса динамики поведения участников игры при различных априорно заданных критериях локального поведения.

При реализации деловой игры "Ресурс" было предусмотрено подключение в качестве участников игры автоматов. Был задан следующий алгоритм поведения автоматов: $b(k+1)$ партии

i -ий автомат выбирал стратегию \bar{s}_i^{k+1} , которая бы увеличила его выигрыш в k -ой партии по сравнению с полученным. Стратегии определялись путем целочисленного сканирования области допустимых изменений стратегий участников игры. Если такой стратегии не находилось, то стратегия i -го автомата принималась равной стратегии, примененной в предыдущей партии игры (такой критерий локального поведения соответствует аксиоме ИП).

* Проведению "контрольных" деловых игр часто предшествует проведение деловых игр с целью обучения.

При проведении "смешанных" человеко-автоматных игр стратегии участников игры сходились к ситуациям равновесия по Нэшу, полученным в результате теоретического анализа [5]. Человеко-автоматные игры использовались для обучения участников игры.

Литература

1. Голос А.А., Соколов В.Б. Деловые игры - метод исследования сложных систем. Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.
2. Бурков В.Н., Немцева А.Н., Соколов В.Б. Деловые игры "Ресурс", "Соревнование", "Общество". Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1971.
3. Ивановский А.Г. Деловой эксперимент по загрузке прокатных станов. Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.
4. Емельянов С.В., Бурков В.Н. Управление активными системами. Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.
5. Бурков В.Н., Опойцев В.И. Распределение ресурса в активной системе. Сб. "Активные системы". М., Институт проблем управления, 1973.
6. Кондратьев В.В., Чепкин А.В. Анализ ситуации равновесия в активной системе для задачи загрузки. Настоящий сборник.