

УДК 004.942

DOI: 10.15827/2311-6749.16.3.8

МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ РАЗНОТИПНЫХ АГЕНТОВ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА

(Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 15-01-05545-а)

*Н.Ю. Мутовкина, к.т.н., доцент; А.Ю. Ключин, к.т.н., доцент;
Н.А. Семенов, д.т.н., профессор, klalex@inbox.ru; В.Н. Кузнецов, д.т.н., профессор
(ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», 170026,
г. Тверь, наб. А. Никитина, 22;)*

В статье рассматриваются парные модели поведения агентов в условиях конфликта, каждый из которых обладает одним из трех возможных поведенческих типов: уклоняющийся, компромиссный и принуждающий. Поведенческий тип определяет характер агента и указывает, какой реакции от них следует ожидать в ответ на конкретные действия. В качестве основной причины конфликта при моделировании выбрана необходимость делить ограниченный объем ресурсов. Ресурсы необходимы для выполнения агентами поставленных задач и самого существования агентов. Установлено, что в ситуации конфликта каждый агент стремится получить большее количество ресурсов, чем есть в данный момент у соперника. Величина этого стремления зависит от поведенческого типа агента. В работе определена методика выбора лучшей модели поведения, а также предложены мероприятия по устранению конфликтной ситуации между агентами. При моделировании были применены основные постулаты нечеткой логики.

Ключевые слова: *межагентный конфликт, поведенческий тип, нечеткая логика, модель поведения, уровень ресурсной обеспеченности.*

В работе [1] авторами уже поднималась проблема взаимодействия агентов в *многоагентной системе* (МАС), рассматривались модели целеустремленного поведения агентов и анализировалось влияние этих моделей на устойчивость системы. От того, какую модель поведения выберет агент, зависит величина его выигрыша. Особое внимание при этом уделяется модели взаимодействия агентов в условиях конфликта. Межагентный конфликт интерпретируется как соревнование, в котором агенты стремятся достичь несовместимых состояний: каждый из них желает то, что может получить только один [1]. Основные причины конфликтов: ограниченность общих ресурсов, которые агенты вынуждены делить между собой; различия агентов в интересах, целях и представлениях, в манере поведения, обусловленной поведенческим типом; различия в количестве и сложности задач, поставленных перед агентами. При этом каждый из агентов обладает определенным поведенческим типом r , $r \in R$, отражающим предпочтения агента. Поведенческий тип является оценкой состояний, в которых пребывает агент при выполнении конкретной задачи; R – множество возможных предпочтений агента. В работе [2] были введены следующие семантические правила: агент является уклоняющимся, если $r \in (0; 0,5)$; агент называется компромиссным (сотрудничающим), если $r \in [0,5; 0,8]$, и агент будет принуждающим в случае $r \in (0,8; 1)$. Согласно результатам проведенного исследования, агенты компромиссного типа готовы идти на уступки при дележе ресурсов и склонны избегать конфликтных ситуаций. Агенты принуждающего типа обычно стремятся захватить как можно больше ресурсов у других агентов. Для уклоняющегося типа агента характерно то, что он полагается лишь на самого себя и предпочитает избегать любых взаимодействий с другими агентами. Тем не менее, конфликтные ситуации неизбежны, когда над решением задачи работают два агента и более. Как правило, инициаторами конфликтов являются агенты принуждающего типа, но в отдельных случаях спровоцировать конфликт могут и агенты других поведенческих типов. Конфликтная ситуация может возникнуть даже в случае работы одного агента, когда его начинают одолевать сомнения относительно правильности действий и поведения в различных условиях функционирования. Тогда объектом исследования становится внутриагентный конфликт. Утопией является сама мысль о возможности достижения абсолютно бесконфликтного состояния в МАС, когда агенты взаимодействуют в полной гармонии как друг с другом, так и с самими собой. Усилия по полному устранению конфликтов, как правило, не приводят к положительному результату. К тому же следует учитывать, что, кроме деструктивной функции, конфликты способны оказывать положительное влияние: определяются различные точки зрения, появляется дополнительная информация и т.п. Поэтому внимание следует сосредоточить на контроле и управлении конфликтами в МАС.

Постановка задачи

При построении модели поведения двух агентов в условиях конфликта авторы руководствовались следующими соображениями:

- каждый из агентов в МАС стремится наращивать свой ресурсный потенциал в пределах своих возможностей, даже если не является соперником для других агентов; такое стремление продиктовано логикой: нет ресурсов – нет жизни;

- конфликт может происходить как между агентами одного и того же поведенческого типа, так и между агентами разных типов;

- в конфликте каждый из агентов будет стремиться к увеличению своих ресурсов в зависимости от объема ресурсов, находящегося в распоряжении другого агента;

- темпы наращивания ресурсов сдерживают ограниченность их общего количества, затраты имеющихся ресурсов на приобретение новых ресурсов (затраты на обеспечение деятельности агента) и «усталость» агентов от борьбы за ресурсы;

- на изменение ресурсного потенциала агента независимо от поведенческого типа последнего может влиять окружающая среда, например, одни агенты могут поделиться с данным агентом своими ресурсами, а другие, наоборот, предпринять захватнические действия.

Модель поведения агентов в условиях конфликта – динамическая модель с дискретным временем t , $t = \overline{0, T}$, где T – момент завершения дележа ресурсов.

При моделировании введены следующие обозначения:

R_t^i, R_t^j – уровни ресурсной обеспеченности агентов i и j , соответственно, в момент времени t , $0 \leq R_t^i, R_t^j < 1$;

η_t^i, η_t^j – коэффициенты реакции агентов i и j на завладение частью ресурсов соперником соответственно, $0 < \eta_t^i < R_t^i$, $0 < \eta_t^j < R_t^j$;

λ_t^i, λ_t^j – коэффициенты, выражающие «усталость» соответствующих агентов от борьбы за ресурсы в условиях конфликта, $0 < \lambda_t^i < R_{t-1}^i$, $0 < \lambda_t^j < R_{t-1}^j$;

χ_t^i, χ_t^j – коэффициенты, выражающие понимание агентами необходимости в ресурсной обеспеченности, уровень «развитости инстинкта» в наращивании ресурсного потенциала, $0 < \chi_t^i, \chi_t^j < 1$;

$\varepsilon_t^i, \varepsilon_t^j$ – случайные компоненты, обусловленные влиянием окружающей среды на деятельность агентов, $-1 < \varepsilon_t^i, \varepsilon_t^j < 1$; чем ближе их значения к -1, тем среда враждебнее; положительные значения свидетельствуют о благожелательности среды; значение, равное нулю, указывает на нейтральное отношение среды;

R_t^{total} – общий объем ресурсов в системе в момент времени t , определяемый по формуле

$$R_t^{total} = R_{t-1}^{total} - (R_{t-1}^i + R_{t-1}^j), \quad t = \overline{0, T}, \quad R_0^{total} = 1, \quad (1)$$

тогда сама модель поведения двух агентов при конфликте представима в следующем виде:

$$\begin{cases} R_{t+1}^i = \eta_{t+1}^i \cdot R_t^j - \lambda_{t+1}^i \cdot R_t^i + \chi_{t+1}^i \cdot R_t^{total} + \varepsilon_{t+1}^i, \\ R_{t+1}^j = \eta_{t+1}^j \cdot R_t^i - \lambda_{t+1}^j \cdot R_t^j + \chi_{t+1}^j \cdot R_t^{total} + \varepsilon_{t+1}^j, \end{cases} \quad t = \overline{0, T}. \quad (2)$$

Величины $\eta_t^i, \eta_t^j, \lambda_t^i, \lambda_t^j, \chi_t^i, \chi_t^j$ зависят от поведенческого типа агентов и являются расчетными:

$$\begin{cases} \eta_{t+1}^i = \frac{[k_1(r_i)] \cdot (R_t^j / R_t^i)}{100}, \\ \eta_{t+1}^j = \frac{[k_1(r_j)] \cdot (R_t^i / R_t^j)}{100}, \end{cases} \quad (3)$$

где $k_1(r_i), k_1(r_j)$ – константы, определяемые психо-поведенческим типом соответствующего агента и показывающие желание агента вступить в борьбу за право обладания ресурсами;

$$\begin{cases} \lambda_{t+1}^i = [k_2(r_i)] \cdot R_t^i, \\ \lambda_{t+1}^j = [k_2(r_j)] \cdot R_t^j, \end{cases} \quad (4)$$

где $k_2(r_i), k_2(r_j)$ – константы, также зависящие от типа агента; эмпирически установлено, что агенты, склонные к уклонению и соперничеству (агрессии), затрачивают больше энергии, нежели агенты компромиссного типа, поскольку последние получают дополнительную энергию от положительных эмоций, возникающих от урегулирования конфликтной ситуации путем компромисса; такой агент всегда получит хотя бы часть от запланированного выигрыша, а это лучше, чем ничего;

$$\begin{cases} \chi_{t+1}^i = 1 - \left[\left(R_t^{total} - (R_t^i + R_t^j) \right) \right]^{k_3(r_i)}, \\ \chi_{t+1}^j = 1 - \left[\left(R_t^{total} - (R_t^i + R_t^j) \right) \right]^{k_3(r_j)}, \end{cases} \quad (5)$$

где $k_3(r_i), k_3(r_j)$ – константы, рассчитываемые, как средний тип (или среднее состояние) агента, то есть: $k_3(r_i) = \bar{r}_i, k_3(r_j) = \bar{r}_j$.

Процесс распределения ресурсов заканчивается, когда возникает ситуация

$$R_{t+1}^i + R_{t+1}^j \geq R_t^{total}. \quad (6)$$

Задача состоит в анализе шести парных моделей взаимодействия агентов в условиях конфликта, что необходимо для получения ответов на следующие вопросы:

- насколько распределение ресурсов зависит от психо-поведенческого типа агента и при какой модели распределение происходит быстрее;
- каким образом меняется распределение ресурсов в зависимости от их объема на начальном этапе;
- каковы темпы распределения ресурсов при уменьшении общего объема ресурсов R_t^{total} ;
- какая модель взаимодействия при заданных начальных условиях наиболее оптимальна, а именно – позволяет распределить ресурс R^{total} в полном объеме за приемлемое время.

Алгоритм моделирования

Построение моделей поведения разнотипных агентов в условиях конфликта проводится в несколько этапов:

- 1) анализ психо-поведенческих типов взаимодействующих агентов и установление значений коэффициентов $k_1(r_i), k_1(r_j), k_2(r_i), k_2(r_j), k_3(r_i), k_3(r_j)$ – (см. табл. 1);
- 2) установление значений $R_0^i, R_0^j, R_0^{total}, \varepsilon_0^i$ и ε_0^j ;
- 3) расчет величин $\eta_{t+1}^i, \eta_{t+1}^j, \lambda_{t+1}^i, \lambda_{t+1}^j, \chi_{t+1}^i, \chi_{t+1}^j$ при $t = 0, \overline{T}$ по формулам (3)–(5);
- 4) расчет значений R_{t+1}^i, R_{t+1}^j по формулам (2) и определение остатка ресурсов R_t^{total} по формуле (1);
- 5) проверка условия (6); если оно выполняется, то процесс останавливается;
- 6) расчет кумулятивных итогов распределения по формулам

$$cumR_T^i = \sum_{t=0}^T R_t^i, \quad cumR_T^j = \sum_{t=0}^T R_t^j, \quad cumR_T^{total} = cumR_T^i + cumR_T^j; \quad (7)$$

- 7) формирование итоговых таблиц (см. табл. 2 и 3);
- 8) выводы и предложения по результатам моделирования;
- 9) проведение численных экспериментов с изменением исходных данных;
- 10) анализ результатов экспериментов и общие выводы.

Моделирование осуществимо в любой программной среде, поддерживающей составление таблиц и графиков и позволяющей осуществлять математические расчеты. Для простоты и наглядности авторами был выбран табличный процессор MS Excel 2012.

Демонстрационный пример

Согласно приведенному выше алгоритму, для указанных психо-поведенческих типов агентов были установлены значения коэффициентов $k_1(r_i), k_1(r_j), k_2(r_i), k_2(r_j), k_3(r_i), k_3(r_j)$ (табл. 1).

Таблица 1

Значения констант, зависящих от психо-поведенческого типа агента

Тип агента	Константа		
	k_1	k_2	k_3
Уклоняющийся	1,0	0,50	0,25
Компромиссный	1,0	0,35	0,65
Принуждающий	1,5	0,50	0,90

Пусть $T = 5, R_0^{total} = 1, R_0^i = 0,01, R_0^j = 0,01, \varepsilon_0^i = 0$ и $\varepsilon_0^j = 0$, то есть:

- на нулевом этапе имеется 100 % ресурса, который следует распределить за пять итераций;
- каждому из агентов на нулевом этапе назначается по 1 % ресурса;

- влияние внешних факторов отсутствует, то есть никто не помогает агентам, но никто и не препятствует им.

Кроме того, рассматривается вариант, когда ресурс не восполняется. Считается, что данного количества ресурса должно хватить для решения поставленной задачи. В условиях невозможности ресурса, как правило, конфликт усиливается. Поэтому одним из мероприятий, позволяющих свести межагентный конфликт к минимуму, является пополнение запаса ресурсов. Однако с экономической точки зрения такое мероприятие не всегда возможно.

Этапы 3, 4 и 6 алгоритма предполагают формирование расчетных таблиц и построение графиков по кумулятивным итогам (рис. 1, 2). На каждом из графиков наивысшая точка указывает на полное распределение ресурсов с созданием определенного дефицита в силу условий конфликта. Поэтому за момент окончания распределения можно принять предыдущий шаг.

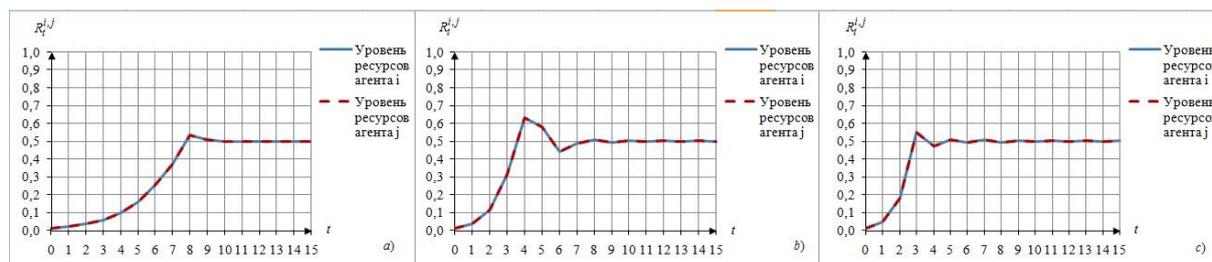


Рис. 1. Кривые распределения ресурса однотипных агентов

На рисунке 1а показано взаимодействие агентов уклоняющегося типа, на рисунке 1б – взаимодействие агентов компромиссного типа и на рисунке 1с – поведение при разделении ресурса между агентами принуждающего типа.

Как видно из рисунка 1, наиболее близко к выполнению условия распределения ресурса поведение агентов компромиссного типа. На четвертой итерации у них остается 37 % нераспределенного ресурса, а при сохранении конфликта на пятой итерации возникает дефицит ресурсов в размере 26 %. Поэтому даже агенты компромиссного типа в условиях конфликта не могут действовать эффективно.

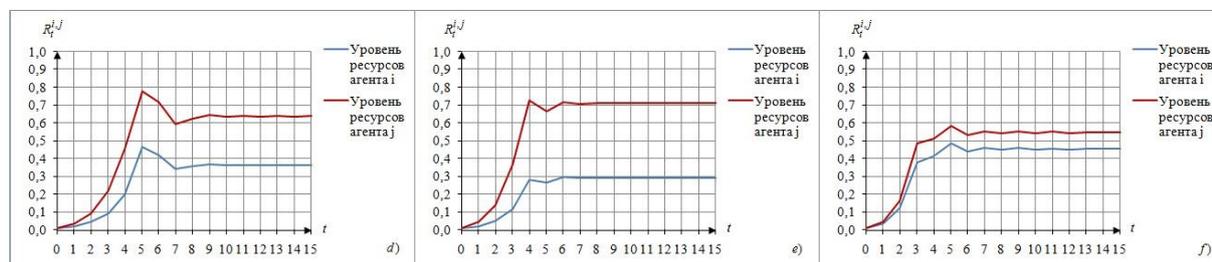


Рис. 2. Кривые распределения ресурса разнотипных агентов

На рисунке 2d отражено поведение агентов уклоняющегося (уровень ресурсов агента i) и компромиссного (уровень ресурсов агента j) типов, на рисунке 2е – взаимодействие агентов уклоняющегося (уровень ресурсов агента i) и принуждающего (уровень ресурсов агента j) типов, на рисунке 2f – взаимодействие агентов компромиссного (уровень ресурсов агента i) и принуждающего (уровень ресурсов агента j) типов.

Из представленных на рисунке 2 моделей поведения наилучшей моделью является 2f.

В таблице 2 представлена информация о том, на каком шаге заканчивается распределение ресурсов между агентами, получаемое при выполнении условия (6).

Таблица 2

Результаты распределения по времени

Тип агента	Уклоняющийся	Компромиссный	Принуждающий
Уклоняющийся	7 (1a)	4 (2d)	3 (2e)
Компромиссный	4 (2d)	3 (1b)	4 (2f)
Принуждающий	3 (2e)	4 (2f)	2 (1c)

Как видно из таблицы 2, время распределения ресурсов, наиболее соответствующее заданному условию $T = 5$, равно четырем итерациям. Это характерно для моделей взаимодействия «уклоняющийся ↔ компромиссный» (2d) и «компромиссный ↔ принуждающий» (2f)). Таким образом, подтверждается гипотеза о некоторой конструктивной стороне конфликта: переговоры между агентами разных типов, одним из которых является компромиссный, расширяют поле деятельности агентов; дают им возможность договориться и приблизиться к выполнению поставленных условий. Все остальные модели взаимодействия признаются неэффективными. В моделях 1b, 2e и 1c распределение ресурса происходит слишком быстро, и агенты не вникают в суть поставленной задачи из-за противоборства; в модели 1a ресурс распределяется слишком медленно, поэтому выполнение задачи такими агентами затягивается.

В таблице 3 показано, какое количество ресурса осталось нераспределенным в момент T .

Таблица 3

Нераспределенный ресурс в моделях поведения агентов при конфликте

Типы агента	Уклоняющийся	Компромиссный	Принуждающий
Уклоняющийся	0,26 (1a)	0,35 (2d)	0,52 (2e)
Компромиссный	0,35 (2d)	0,37 (1b)	0,07 (2f)
Принуждающий	0,52 (2e)	0,07 (2f)	0,64 (1c)

Наилучший результат распределения получен в модели 2f, поскольку в ней осталось лишь 7 % нераспределенного ресурса на пятой итерации распределения. Остальные значения показывают, что агентам следует изменить свои стратегии поведения, так как в противном случае они будут испытывать существенный дефицит ресурса, что не позволит им выполнить поставленную задачу за отведенное время. Модель 2f, хотя и является оптимальной из всех представленных моделей, но тоже не совершенна.

На изменение стратегии поведения агентов и на сведение конфликта к минимуму могут оказать влияние следующие мероприятия:

- если возможно, обеспечение пополнения ресурсного запаса;
- оказание помощи агентам извне, например, предоставление возможности другим агентам делиться с рассматриваемыми агентами своими ресурсами;
- организация подбора таких агентов, которые смогут достаточно эффективно проявить себя, работая в паре, несмотря на возможность возникновения между ними конфликтных ситуаций.

Так, например, при тех же условиях оказание помощи i -му агенту только на первой итерации в размере $\epsilon_1^i = 0,01$ (рис. 3а) дает возможность обеспечить полное распределение ресурса (100 %), но уже за восемь итераций.

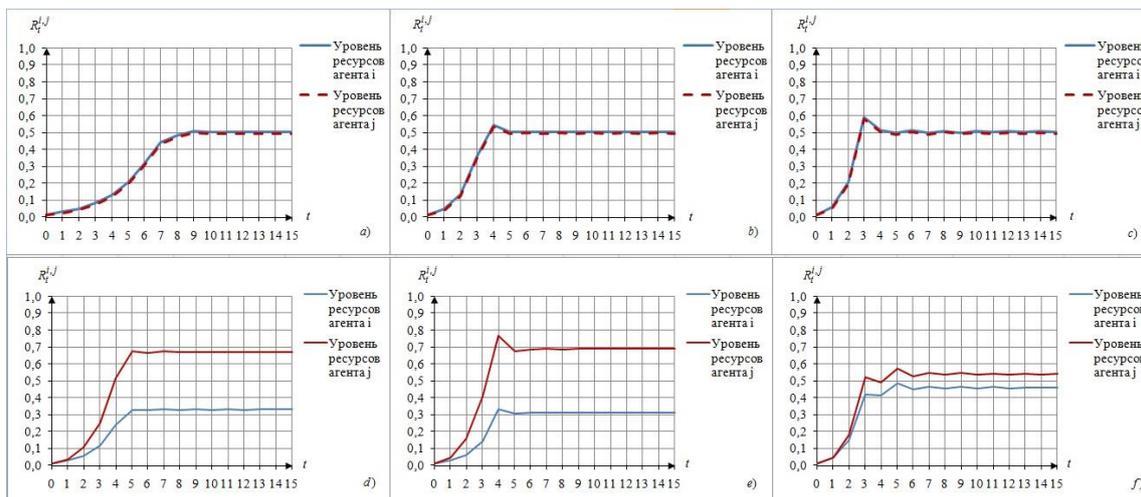


Рис. 3. Изменение поведения агентов при оказании i -му агенту единовременной помощи

Теперь лучшей моделью признается модель 3d, когда помощь оказывается агенту уклоняющегося типа. Помощь, оказываемая агенту компромиссного типа в модели 3f, вызывает негативные эмоции у агента принуждающего типа, что только усугубляет конфликт.

Дальнейшее проведение численных экспериментов показало, что следует очень внимательно относиться к первоначальному распределению ресурсов между агентами и прежде, чем оказывать помощь

кому-либо из них, проанализировать необходимость этого. Вполне возможно, что результатом станет ситуация: «Хотели как лучше, а получилось как всегда!»

Дополнительно проводится анализ зависимости «усталости» агентов от их психо-поведенческого типа, то есть проверяется выполнение условия (8):

$$\lambda_i^i \lambda_r^j > \eta_i^i \eta_r^j, \tag{8}$$

где $\lambda_i^i \lambda_r^j$ – оценка усталости агентов от конфликта;

$\eta_i^i \eta_r^j$ – оценка реакции агентов на действия друг друга.

Период, на протяжении которого выполняется неравенство (8), свидетельствует об активной фазе конфликта. На рисунке 4 изображены активные фазы конфликта между агентами во всех рассматриваемых моделях.

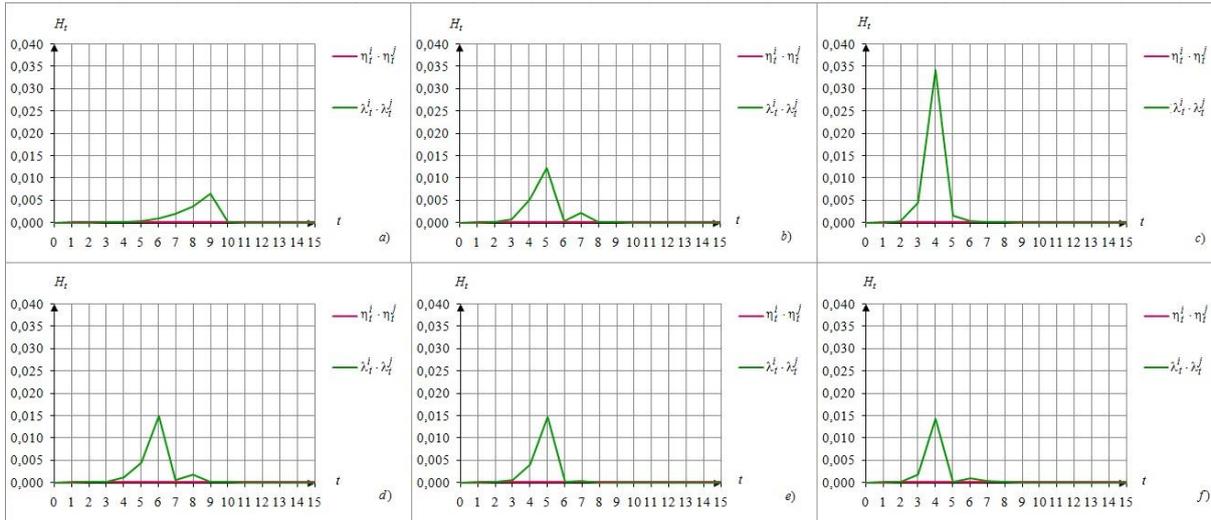


Рис. 4. Зависимость усталости агентов при взаимодействии в условиях конфликта от их типа

Графики на рисунке 4 соответствуют моделям поведения агентов при дележе ресурсов, представленным на рисунке 1 и 2. Очевидно, что наибольшую «усталость» испытывают агенты принуждающего типа (рис. 4с), наименьшую – агенты уклоняющегося типа (рис. 4а). Для остальных моделей поведения характерно проведение переговоров, поэтому пиковая точка «усталости» находится примерно на одном уровне.

В моделях, представленных на рисунке 3, графики данной зависимости немного изменились (рис. 5).

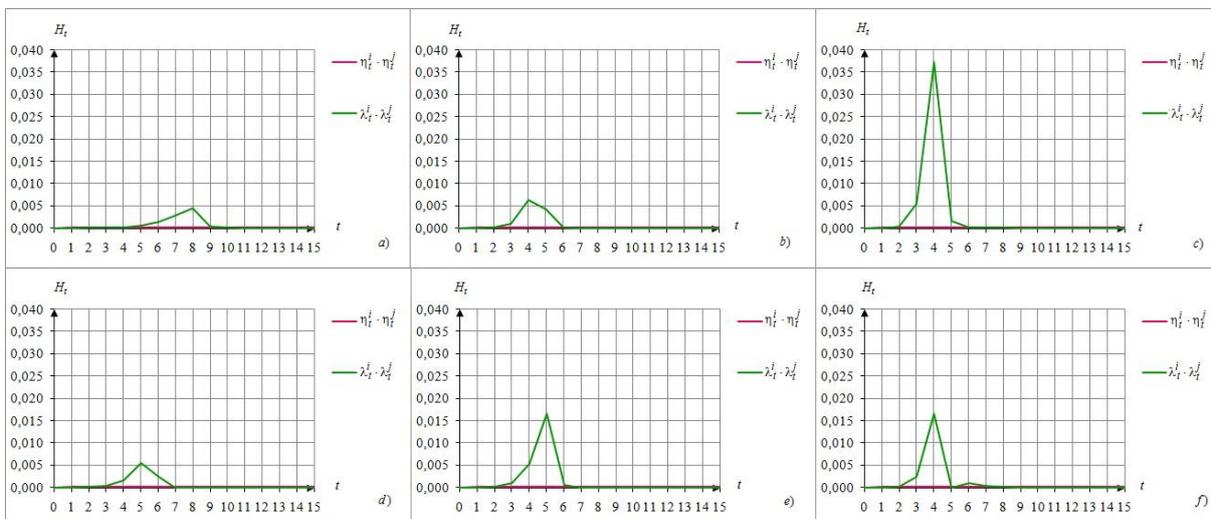


Рис. 5. Зависимость усталости агентов от их типа при оказании помощи i-му агенту

Теперь наименьшая усталость наблюдается в моделях а) и d). Исходя из результатов моделирования, приведенных выше, при оказании помощи агенту уклоняющегося типа в размере 1 % на первой итерации модель d) признается наилучшей.

В заключение отметим следующее. Поскольку в данном исследовании агент воспринимается как интеллектуальная антропоморфная сущность, для которой характерно наличие ментальных свойств, описание парных моделей поведения агентов в условиях конфликта основано на гипотезе о реализации агентами стилей поведения, предложенных американскими учеными К. Томасом и Р. Килменном [3, 4]. Они выделили пять основных стилей поведения в конфликтной ситуации: приспособление (уступчивость), уклонение, конкуренция (противоборство), сотрудничество и компромисс. При этом классификационными признаками являются степень реализации агентом собственных интересов и достижения своих целей, а также степень, в которой учитываются и реализуются интересы соперника. Стратегии уклонения и уступчивости характерны для уклоняющегося типа агентов, агенты компромиссного типа могут придерживаться как стратегии приспособления, так и стратегии компромисса. Для агентов принуждающего типа наиболее типична стратегия противоборства. Из результатов моделирования следует, что выигрыш обоим агентам может принести только одна стратегия – сотрудничество.

Литература

1. Мутовкина Н.Ю., В.Н. Кузнецов, А.Ю. Ключин. Влияние целеустремленного поведения агентов на устойчивость многоагентной системы // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 2 (56). С. 43–48.
2. Мутовкина Н.Ю., А.Ю. Ключин, В.Н. Кузнецов. Семантическое определение типа агента в многоагентной системе. Проблема межагентного взаимодействия // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2013): матер. III Междунар. науч.-технич. конф. (21-23 февраля 2013 г.): сб. тр. Минск: Изд-во БГУИР, 2013. С. 309–316
3. Kilmann R.H., Thomas K.W. Interpersonal conflict-handling behavior as reflections of jungian personality dimensions. *Psychological Reports*, 1975, vol. 37, no. 3, pp. 971–980. URL: www.kilmanndiagnostics.com (дата обращения: 19.08.2015).
4. Kilmann R.H., Thomas K.W. Developing a forced-choice measure of conflict-handling behavior: the “mode” instrument. *Educational and Psychological Measurement*, July 1977, vol. 37, no. 2, pp. 309–325. URL: www.kilmanndiagnostics.com (дата обращения: 19.08.2015).