

Модель поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности

Аннотация. Предложена модель поддержки принятия решений для создания коалиций в условиях неопределенности. Модель позволяет в условиях неопределенности предложить правдоподобный вариант коалиции, основываясь на нечетких представлениях о целях, ресурсах и стратегиях игроков. Сформулированы необходимые и достаточные условия образования коалиции.

Ключевые слова: конфликтная ситуация, коалиция, когнитивная карта, критерии стабильности коалиций.

Введение

В практике принятия решений по управлению сложными социально-экономическими и политическими системами возможны случаи, когда множество заинтересованных сторон пытаются изменить состояние системы на выгодное для каждой из сторон состояние. В этом случае в качестве возможных стратегий достижения поставленной цели для каждого игрока необходимо рассматривать не только различные стратегии применения его собственных ресурсов, но и стратегии объединения его ресурсов с ресурсами игроков с близкими целями, т.е. стратегии образования коалиций.

При разработке стратегии образования коалиции для управления динамической системой важно решить две задачи:

1. Какая из заинтересованных сторон (игроков) может быть потенциальным сторонником по коалиции?

2. Как обеспечить устойчивость коалиции?

Под устойчивостью коалиции понимается такая кооперация игроков, при которой любому из них не выгодно покидать эту коалицию.

В этой работе исследуется возможность создания компьютерной системы поддержки принятия решений для формирования коалиции игроков, управляющих плохо определенной динамической ситуацией.

В настоящее время методы и подходы формирования коалиций образуют две группы методов: аналитические методы формирования коалиций в условиях полной информированности всех игроков; методы формирования коалиций на основе переговоров.

В условиях полной информированности всех заинтересованных сторон о целях, ресурсах и стратегиях всех участников конфликтной ситуации, при условии рационального и интеллектуального поведения всех игроков и возможности дележа выигрыша, полученного коалицией, выбор стратегии образования коалиции имеет строгое аналитическое решение, полученное в рамках теории кооперативных игр [1].

В теории кооперативных игр, для описания коалиционного взаимодействия игроков, игру представляют в форме характеристической функции [1]. Игра в характеристической форме задается множеством игроков N и характеристической функцией $\gamma(\cdot)$ на всех возможных подмножествах игроков – коалициях. Значение характеристической функции $\gamma(K)$ для коалиции игроков $K \subseteq N$ определяет выигрыш коалиции. Решением коалиционной игры считается дележ $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ выигрыша коалиции $\gamma(K)$, такой, что выигрыш любого игрока коалиции x_i превышает его выигрыш $\gamma(\{i\})$, если бы этот игрок действовал самостоятельно,

т.е., $x_i > \gamma(\{i\})$, $i \in K$. Находится такой дележ выигрыша между всеми участниками игры в разных коалициях, который лишает их мотиваций покидать коалицию, обеспечивая ее устойчивость.

Существуют многочисленные методы решения кооперативных игр (С-ядро, МН-решения и др.) [1], которые не гарантируют получения единственного решения.

В научной литературе представлено множество работ по анализу коалиций в выборных органах власти, решения в которых принимаются в результате голосования. Они основаны на анализе силы (власти) игроков, измеренной с помощью различных индексов их влияния в коалиции. Это индексы: Шепли-Шубика [2], Банцафа [3], Алескерова [4] и др. [5].

Индекс влияния каждого игрока определяется отношением выигрывающих коалиций, в которых он участвует, обладая ресурсом (определенным количеством голосов) к общему числу возможных коалиций. К сожалению, индексы влияния не позволяют определить - какая коалиция в выборных органах власти будет образована и будет ли эта коалиция устойчива.

Об устойчивости коалиции можно судить на основе анализа сбалансированности отношений участников коалиции [5]. Отношения «симпатии» (знак +) или «антипатии» (знак -) между игроками задаются знаковым графом [6]. Отношения подмножества игроков сбалансированы, если отношения между всеми игроками имеют знак плюс. Т.е., в сбалансированной структуре, между всеми игроками установлены отношения «симпатии», что определяет устойчивость такого образования. Степень сбалансированности отношений между игроками определяется с помощью интегральной характеристики – уровня сбалансированности отношений [4, 7], который определяется как отношение положительных простых циклов в графе к их общему числу.

Аналитические подходы направлены на определение возможных коалиций в условиях полной информированности всех игроков о целях, ресурсах и возможных стратегиях всех участников конфликтной ситуации и позволяют предсказать исход переговоров между участниками, если они будут организованы.

В условиях неопределенности коалиции образуются в результате переговоров между заинтересованными сторонами, где путем нахождения компромиссных решений, стороны

добиваются устойчивости мотиваций образования коалиции каждой стороны.

В работе [8] предложены методы, определяющие процедуры дележа в процессе проведения переговоров и позволяющие получить справедливый дележ. Критериями справедливого дележа, в этом случае, являются трудно формализуемые ощущения каждого участника коалиции в его справедливости, неформально определяемые как отсутствие у игроков зависти, ощущение каждого игрока в равноценности долей и эффективности дележа.

Интересный вклад в исследования методов по формированию коалиций, с точки зрения возможности их практической реализации, внесли исследования методов образования коалиций среди автономных интеллектуальных искусственных агентов в рамках теории многоагентных систем [9]. Многоагентная система состоит из множества интеллектуальных, общающихся между собой агентов, которые могут объединяться в коалицию для решения сложных задач, решение которых невозможно отдельными агентами.

Исследуются две группы методов образования коалиций (коалиционных алгоритмов). Первая группа – это алгоритмы образования коалиций, основанные на известных методах решения кооперативных игр в виде дележа выигрыша коалиции. Алгоритмы этой группы методов имеют экспоненциальную сложность вычислений и коммуникаций между агентами относительно числа агентов, что ограничивает возможность их практического применения [9].

Вторая группа – это методы, основанные на моделировании поведения агентов при образовании коалиций на основе теорий социального поведения и социальной зависимости субъектов [9-11]. Здесь решение об образовании коалиции принимается каждым агентом самостоятельно на основе его знаний о целях и ресурсах других агентов. В качестве сторонника в коалиции выбираются агенты с близкими целями и обладающие ресурсами, позволяющими увеличить возможность достижения цели каждым агентом, участвующим в коалиции. Децентрализованные алгоритмы позволяют оперативно решать вопросы образования открытых динамических коалиций, т.е. коалиций, состав которых может меняться в процессе решения задачи, а агенты могут свободно входить в состав коалиции или выходить из нее [9].

Основная идея децентрализованного подхода образования коалиций – моделирование поведения агентов в коалиции на основе теорий социального поведения используется в этой работе для исследования возможности создания системы поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности. В основу системы поддержки принятия решений положены работы социальных психологов Д. Хоманса [13] и Л. Фестингера [13]. В этих работах предложены, соответственно, концептуальная модель функционирования малых социальных групп (коалицию можно рассматривать как малую социальную группу) на основе обмена полезностями, а также концепция когнитивного диссонанса, позволяющая оценить субъективные ощущения участников коалиции в справедливости дележа выигрыша коалиции.

Предложенная модель формирования коалиции в условиях неопределенности основана на нечеткой модели динамической системы (объекта управления) и нечетких экспертных оценках цели, стратегии управления игроков, участвующих в конфликтной ситуации. Нечеткая модель динамической системы, а также нечеткие экспертные оценки цели и стратегий игроков определяются игроком, принимающим решение об образовании коалиции.

В работе сформулированы необходимые и достаточные условия для образования коалиции.

1. Нечеткая модель объекта управления

Для анализа коалиционного управления динамической системой в качестве математической модели объекта управления выбрана модель представления экспертных знаний о процессах в динамической системе в виде когнитивной карты [14]. Использование в качестве модели объекта управления когнитивной карты в игровых постановках принятия решений рассматривалось в работе [15].

Считается, что игрок, принимающий решение по созданию коалиции, построил модель объекта управления в виде нечеткой когнитивной карты, основанной на правилах Rule Based Cognitive Map, считая, что все игроки, при принятии своих решений по управлению ситуацией, пользуются именно такой моделью.

В нечеткой когнитивной карте определено множество факторов ситуации $A=\{a_{ij}\}$, упорядоченное множество лингвистических значений каждого фактора $L_i=\{l_{ij}\}$, $i=1\dots n$, $j=1\dots m$, функции принадлежности лингвистических значений $\mu_x(l_{ij})$, $\forall l_{ij}$.

Динамика изменения факторов ситуации в нечеткой когнитивной карте, основанной на правилах, задается отображением:

$$W: Y(t) \rightarrow Y(t+1), \quad (1)$$

где W – система нечетких правил «Если, То», заданная на множестве всех возможных значений факторов ситуации $W: \times_i L_i \rightarrow \times_i L_i$.

Прогноз развития ситуации $Y(n)$, полученный методом последовательных итераций с помощью правила вывода Мамдани [16] на n -шагах, определится из соотношения:

$$Y_q(1)=W^{\circ} Y_q(0), \\ Y_q(2)=W^{\circ} Y_q(1), \dots, Y_q(n)=W^{\circ} Y_q(n-1), \quad (2)$$

где $Y(k)=(l_{1j} / \mu_{l_{1j}}(L_1), \dots, l_{nb} / \mu_{l_{nb}}(L_n))$ – вектор состояния ситуации, $k=1, \dots, n$; $(l_{1j}, \dots, l_{nb})$ лингвистические значения прогнозного вектора, $(\mu_{l_{1j}}(L_1), \dots, \mu_{l_{nb}}(L_n))$ – степень неопределенности прогноза на шаге n , $^{\circ}$ – правило вывода.

2. Участники плохо определенной конфликтной ситуации

В условиях отсутствия точной информации о целях, ресурсах и стратегиях всех игроков, игрок, принимающий решение характеризует каждого игрока $q \in N$ в терминах нечетких множеств следующим кортежем:

$$\langle g_q, r_q, e_q, \mu_q(Y_q, g_q) \rangle,$$

где: 1. $g_q=(l_{1j} / \mu_{l_{1j}}(L_1), \dots, l_{1n} / \mu_{l_{1n}}(L_n))$ – вектор целевых факторов игроков определен парой: лингвистические значения факторов целевого вектора $(l_{1j}, \dots, l_{1n})$ и $(\mu_{l_{1j}}(L_1), \dots, \mu_{l_{1n}}(L_n))$ – степень уверенности игрока, принимающего решение в значении факторов целевого вектора игрока q .

2. $r_q=(l_{1j} / \mu_{l_{1j}}(L_1), \dots, l_{1n} / \mu_{l_{1n}}(L_n))$ – правдоподобная стратегия управления определена также парой: лингвистическое значение ресурса и

степень уверенности в том, что игрок q будет использовать этот ресурс для достижения поставленной цели. Такая экспертная оценка ресурсов каждого игрока, определяет его правдоподобную стратегию, которая доминирует все другие стратегии игрока, т.е. является лучшей.

Считается, что игрок q применяет стратегию r_q для достижения своей цели g_q , зная суммарную стратегию остальных игроков $\bigoplus_{i \in N, i \neq q} r_i$. Тогда прогноз развития ситуации на n шагах моделирования определится из соотношения (2) при условии, что $Y_q(0) = r_q \bigoplus_{i \in N, i \neq q} r_i$, т.е.:

$$Y_q(1) = W \circ r_q \bigoplus_{i \in N, i \neq q} r_i, \\ Y_q(2) = W \circ Y_q(1), \dots, Y_q(n) = W \circ Y_q(n-1).$$

3. $e_q(u(g_q), v(r_q)) \rightarrow R^+$ - эффективность достижения игроком целевой ситуации, где $u(g_q)$ - полезность целевой ситуации, $u: g_q \rightarrow R^+$; $v(r_q)$ - затраты игрока для достижения целевой ситуации для правдоподобной стратегии r_q , $\varphi: r_q \rightarrow R^+$.

4. $\mu_q(Y_q(n), g_q)$ - возможность достижения игроком q целевой ситуации в условиях противодействия игроков противников определяется как степень нечеткого сходства прогнозной ситуации $Y_q(n)$ и его целевой ситуацией g_q :

$$\mu_q(Y_q(n), g_q) = \min (v(Y_q(n), g_q), v(g_q, Y_q(n))), \quad (3)$$

где $v(Y_q(n), g_q)$ - степень нечеткого включения прогнозной ситуации $Y_q(n)$ в целевую g_q , а $v(g_q, Y_q(n))$ соответственно целевой g_q в прогнозную $Y_q(n)$ [17].

Степени нечеткого включения двух нечетких множеств $(Y_q(n), g_q)$ и $(g_q, Y_q(n))$ определяются из соотношений (4) и (5) [17]:

$$v(Y_q, g_q) = \min_{l_{ij} \in L_i} \max (1 - Y_q(n), g_q), \quad (4)$$

$$v(g_q, Y_q) = \min_{l_{ij} \in L_i} \max (1 - g_q, Y_q(n)). \quad (5)$$

Для определения возможности достижения игроком целевой ситуации необходимо определить множества потенциальных сторонников и противников игрока, принимающего решение $i \in N$. Для этого определяется степень нечеткого включения целевых ситуаций всех игроков в

целевую ситуацию игрока, принимающего решение с помощью соотношения:

$$v(g_q, g_i) = \min_{l_{ij} \in L_i} \max (1 - g_q, g_i), \\ q \neq i, q = 1 \dots n-1, q, i \in N.$$

Задаваясь порогом нечеткого включения $t_{inc} \geq 0.5$ [17], всех участников конфликта представим в виде объединения двух подмножеств: $N = K \cup MK$,

где: K - подмножество, включающее игроков целевые ситуации которых нечетко включены в целевую ситуацию игрока, принимающего решение, $v(g_q, g_i) \geq 0.5$, $q, i \in K$ - это его потенциальные союзники;

MK - подмножество, включающее участников целевые ситуации, которых нечетко включены в целевую ситуацию игрока, принимающего решение $v(g_q, g_i) < 0.5$, $q, i \in MK$ - это его потенциальные противники.

Суммарную стратегию достижения цели потенциальными противниками $r^{K \setminus N}$ определим как нечеткую сумму их правдоподобных стратегий:

$$r^{K \setminus N} = \bigoplus_{i \in K \setminus N} r_i.$$

Тогда, для определения возможности достижения целевой ситуации игроками потенциальными сторонниками $\forall q \in K$, прогноз развития ситуации $Y_q(n)$ в соотношении (3) будет получен методом последовательных итераций на n -шагах путем подстановки в уравнение (2) на первом шаге моделирования прогноза правдоподобной стратегии игрока - r_q , объединенной с вектором ресурсов предполагаемых его противников - $r^{K \setminus N}$, т.е.

$$Y_q(1) = W \circ r_q \bigoplus r^{K \setminus N}, \\ Y_q(2) = W \circ Y_q(1), \dots, Y_q(n) = W \circ Y_q(n-1).$$

Подстановка полученного прогноза $Y_q(n)$ в соотношение (3) позволяет определить возможность достижения игроками $q \in K$ собственных целей g_q только за счет собственных ресурсов r_q при условии противодействия противников.

По сути, этот показатель определяет потенциальную «силу» каждого игрока коалиции без поддержки потенциальных сторонников при условии противодействия противников.

3. Необходимые и достаточные условия образования коалиции

Очевидно, что в качестве потенциальных сторонников в конфликтной ситуации необходимо выбирать игроков, цели которых близки к цели игрока, принимающего решение об образовании коалиции. Тогда, необходимым условием образования коалиции K будем считать нечеткое включение целевых состояний потенциальных сторонников по коалиции в целевое состояние игрока, принимающего решение, т.е. $\nu(g_q, g_i) \geq 0.5, q, i \in K$.

Однако выполнение необходимого условия не позволяет судить об устойчивости коалиции.

В классической постановке коалиционных игр [1], в условиях полной информированности, устойчивость коалиции обеспечивает дележ выигрыша коалиции. Справедливый дележ лишает игроков мотиваций перехода в другие коалиции или отказа от участия в конфликтной ситуации, т.е. обеспечивает ее устойчивость.

В этой работе, на основе теории социального поведения субъектов [12], анализируется взаимная полезность игроков при объединении их ресурсов для достижения общей цели. Считается, что дисбаланс во взаимной полезности игроков в коалиции создает у них ощущения несправедливости, которые увеличивают мотивации игроков для выхода их из коалиции. Для оценки ощущений игроков о несправедливости дележа выигрыша коалиции используется концепция когнитивного диссонанса [13].

Предложены следующие три критерия, позволяющие судить об устойчивости коалиции: взаимной полезности, когнитивного диссонанса и привлекательности игрока в коалиции.

3.1. Критерий взаимной полезности игроков в коалиции

Одним из фундаментальных принципов теории коалиционных игр является принцип существенности коалиционной игры, который означает синергетический эффект от объединения стратегий игроков [1]. Выполнение этого принципа означает, что, выигрыш, полученный каждым игроком в коалиции должен быть больше, чем выигрыш, полученный тем же игроком без кооперации.

В условиях неопределенности вариант принципа существенности коалиционной игры

можно определить как принцип взаимной полезности игроков в коалиции. Согласно этому принципу объединение правдоподобных стратегий достижения цели игроков, удовлетворяющих необходимому условию, должно увеличивать их возможности достижения поставленной цели.

Игрок i называется полезным игроку q если объединение их стратегий $r_i \oplus r_q$ увеличивает возможность достижения цели g_i игроком i в условиях противодействия противников, т.е. если

$$\mu(Y_{i+q}, g_i) > \mu(Y_q, g_i).$$

Игроки q и i называются взаимно полезными, если объединение стратегий $r_i \oplus r_q$ увеличивает возможность достижения их собственных целей (g_q, g_i) в условиях противодействия их противников, т.е. если $\mu(Y_{i+q}, g_i) > \mu(Y_q, g_i)$, $\mu(Y_{i+q}, g_q) > \mu(Y_q, g_q)$. Степень полезности $P(i, q)$ игрока q для игрока i определяется из соотношения:

$$P(i, q) = \frac{\mu(Y_{i+q}, g_i)}{\mu(Y_i, g_i)} - 1, \quad (6)$$

где $\mu(Y_{i+q}, g_i)$, $\mu(Y_q, g_q)$, $\mu(Y_i, g_i) \in [0, 1]$ – возможности достижения игроками q и i своих целей при объединении их стратегий и, соответственно, собственными силами в условиях противодействия противников. Возможности достижения игроками своих целей определяются из соотношения (3).

Граф взаимной полезности $\Gamma(K, U)$, отражающий бинарные отношения полезности между потенциальными сторонниками по коалиции, показан на Рис.1, где K – множество потенциальных сторонников по коалиции, U – матрица смежности орграфа, элементы которой отражают отношения полезности между игроками, $P(i, q) \in U, \forall i, q \in K$.

Коалиция игроков в этой работе рассматривается как малая социальная группа, объединенная общим интересом. Возможный механизм, обеспечивающий целостность малой социальной группы, исследовался в работе Дж. Хоманса [12]. Здесь социальное поведение игроков в социальной группе (коалиции) представляется как обмен между игроками как материальными, так и не материальными ценностями (ресурсами, полезностями и т.д.).

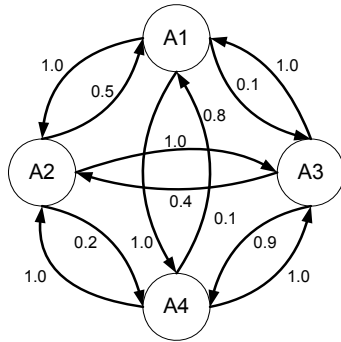


Рис.1. Граф взаимной полезности игроков

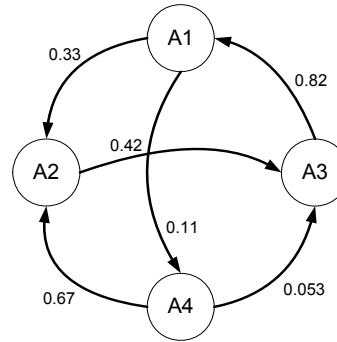


Рис.2. Граф подчиненности игроков

Дж. Хоманс вводит понятие практического равновесия в малой социальной группе и определяет его как баланс «сил» между обмена, при условии, что каждый член группы получает при этом максимальную выгоду.

Такое определение равновесия в коалиции позволяет утверждать следующее: по критерию взаимной полезности коалиция K устойчива, если ее игроки одинаково полезны друг другу $P(i, q) = P(q, i)$, $\forall i, q \in K$, и имеют равную эффективность участия в коалиции, т.е. $e_i = e_q$.

Из социальной психологии известно, что малые социальные группы, построенные на принципах взаимной полезности устойчивы [18]. Требование равной эффективности участия в конфликте ($e_i = e_q$), позволяет говорить о существовании в коалиции справедливости, которая интерпретируется как баланс в распределении дележа выигрыша коалиции пропорционально индивидуальным взносам (вкладам) игроков в получение этого выигрыша [18].

Тем не менее, в коалициях может существовать дисбаланс взаимной полезности $P(i, q) \neq P(q, i)$, который может приводить к возникновению разного рода отношений между игроками. Возникновение таких отношений вызвано тем, что в процессе социального обмена для восстановления баланса взаимной полезности игроки могут обмениваться не только материальными ресурсами, но и социальными «товарами», например, независимостью, информацией, знаниями и т.д. Например, слабый игрок для восстановления баланса в коалиции может жертвовать своей независимостью в пользу более сильному игроку.

В этом случае между игроками i и q определено отношение подчинения, если $P(i, q) > P(q, i)$. При этом игрок q называется подчиненным

игроку i . Сила подчиненности u_{iq} игрока q игроку i пропорциональна превосходству полезности игрока i для q ($P(i, q)$) над полезностью игрока q для i ($P(q, i)$), т.е.

$$u_{iq}^* = \frac{P(i, q)}{P(q, i)} - 1. \quad (7)$$

Граф взаимной полезности игроков в коалиции $\Gamma(K, U)$ может быть преобразован в граф подчиненности игроков $\Gamma^*(K, U^*)$ в коалиции K , (Рис.2), где элементы матрицы смежности графа подчиненности игроков, $u^* \in U^*$, определяются из соотношения (7).

Граф подчиненности игроков в коалиции отражает возможную ее организационную структуру, обеспечивающую баланс полезностей игроков и, следовательно, ее устойчивость.

3.2. Критерий когнитивного диссонанса

Наличие дисбаланса взаимной полезности или эффективности игроков, включенных в коалицию, приводит к возникновению скрытых (латентных) конфликтов в коалиции. Скрытый конфликт каждого участника коалиции характеризует его ощущения о несправедливости в коалиции и определяется уровнем когнитивного диссонанса.

Когнитивный диссонанс – это противоречие в системе знаний человека, порождающее у него неприятные переживания и побуждающее его к действиям, направленным на устранение этого противоречия [13]. Когнитивный диссонанс вызывает у субъекта (игрока) стремление уменьшить или препятствовать его росту. Проявление этого стремления у игрока включает изменение поведения, изменение знаний об объекте, игнорирование ситуации [13].

Изменение поведения игроков, включенных в коалицию, и вызванное когнитивным диссонансом может привести к их выходу из коалиции, т.е. к ее неустойчивости.

Определим индивидуальные уровни когнитивного диссонанса по взаимной полезности и эффективности для всех игроков коалиции. Степень когнитивного диссонанса по взаимной полезности между игроками i, q определяется из соотношения:

$$D^W(q, i) = \frac{P(i, q) - P(q, i)}{P(i, q) + P(q, i)},$$

$$D^W(q, i) = -D^W(i, q), \forall i, q, i \neq q.$$

Значение когнитивного диссонанса по взаимной полезности игрока i по отношению к игроку q минимально, если их взаимные полезности равны $P(i, q) = P(q, i)$.

Степень когнитивного диссонанса по эффективности между игроками i, q определится из соотношения:

$$D^E(i, q) = \frac{e_i - e_q}{e_i + e_q}, D^E(i, q) = -D^E(q, i), \forall i, q, i \neq q.$$

Значение когнитивного диссонанса по эффективности игрока i по отношению к игроку q минимально, если их эффективности достижения цели равны $e_i = e_q$.

По критерию когнитивного диссонанса устойчивая коалиция определится следующим образом: коалиция K устойчива, если для всех игроков $i, q \in K$ их когнитивные диссонансы по полезности и эффективности близки к нулю $D^W(i, q) \approx 0, D^E(i, q) \approx 0, \forall i, q$.

3.3. Критерий привлекательности игрока

Критерии взаимной полезности и когнитивного диссонанса, определяют устойчивую коалицию, как коалицию равных и всем довольных игроков. Однако в реальных ситуациях полезности, которыми обмениваются игроки, могут быть неодинаковыми, т.е. $P(i, q) \neq P(q, i)$ и, соответственно, когнитивные диссонансы игроков (i, q) не равны нулю, $D^W(i, q) \neq 0, D^E(i, q) \neq 0$.

Для принятия решений по выбору сторонников по коалиции в таких условиях, предложен критерий привлекательности игроков для образования устойчивой коалиции.

Критерий привлекательности игроков m_q [19, 20] строится как функция двух переменных

$m_q = f(m_{eq}, m_{\mu q}), \forall q$, где m_{eq} – уровень мотиваций участия в игрока конфликтной ситуации, а m_{μ} – уровень мотиваций объединения в коалицию.

3.3.1. Уровень мотиваций участия игрока конфликтной ситуации

Уровень мотиваций участия игрока конфликтной ситуации зависит от эффективности (e_q) достижения игроками целевой ситуации. Определение этого уровня основано на следующей правдоподобной гипотезе: чем выше эффективность достижения целевой ситуации e_q игроком $q \in K$, тем выше его мотивации участия в конфликте (m_{eq}).

Пусть эффективность достижения цели игроков изменяется от нуля до некоторого максимально возможного значения эффективности $E_{max} = \max(e_q), q \in K$, т.е. $0 \leq e_q \leq E_{max}$. Эффективность $e_q = 1$ означает, что выгоды $u(g_q)$, полученные игроком $q \in K$ от достижения целевой ситуации, равны его затратам $v(r_q)$ на получение этих выгод. Определим ε – окрестность единичного значения эффективности $[1 \pm \varepsilon]$, в которой выгоды, получаемые игроком недостаточны для того чтобы уверенно говорить о возможности его участия в этом конфликте.

Для проверки правдоподобности гипотезы о росте мотиваций участия в игре при росте эффективности достижения цели выделяем три интервала эффективности достижения целевой ситуации $\{e_1, e_2, e_3\}$:

- интервал $e_1 - [0 \leq e \leq 1 - \varepsilon]$ низкой эффективности, в котором затраты игрока для достижения целевой ситуации больше выигрыша от ее достижения. Если эффективность e_q игрока попадает в этот интервал, то мотивации участвовать в конфликте у него отсутствуют, т.е. уровень мотивации участия в конфликтной ситуации – низкий;
- интервал $e_2 - [1 + \varepsilon \leq e \leq 1 - \varepsilon]$, в котором мотивации участия и неучастия игрока в конфликте приблизительно равны, а уровень мотивации его участия в конфликте – средний;
- интервал $e_3 - [E_{max} \geq e \geq 1 + \varepsilon]$, в котором игрок получает выигрыш, превышающий затраты на его получение и, следовательно, мотивации участия в игре для достижения цели достаточно высокие.

Здесь гипотеза роста мотивации участия в игре при росте эффективности достижения цели верна. Действительно, чем больше эффек-

тивность достижения целевой ситуации, $e_3 > e_2 > e_1$, тем выше мотивации участия в игре, $m_q(e_3) > m_q(e_2) > m_q(e_1)$. Упорядоченное множество лингвистических значений мотивации участия в конфликте следующие: $m_e = \{\text{высокий, средний, низкий}\}$.

3.3.2. Уровень мотиваций игрока объединения в коалицию

Уровень мотиваций объединения в коалицию определяется как функция от возможности (μ_q) достижения целевой ситуации игроками. Определение значений уровня мотиваций объединения в коалицию (m_μ) основано на следующей гипотезе: чем выше возможность достижения целевой ситуации игрока $q \in K$ собственными силами μ_q , тем меньше у него мотиваций поиска сторонников в конфликте.

Возможность достижения цели принимает значения из интервала $[0 \leq \mu \leq 1]$. Считаем, что в точке $\mu = 0,5$ возможность достичь и не достичь целевой ситуации, равны. Определим ε -окрестность точки $\mu = 0,5$, $[0,5 \pm \varepsilon]$ неразличимой для экспертной оценки возможности достижения или не достижения цели.

По критерию возможности достижения целевой ситуации также рассмотрим три интервала $\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$:

- интервал $\mu_1 - [0 \leq \mu \leq 0,5 - \varepsilon]$, в котором возможность достичь целевой ситуации за счет собственных ресурсов низкая. Считаем, что если игрок не может достичь целевой ситуации собственными силами, то он будет искать сторонников. Мотивации образования коалиции в этом случае высокие;
- интервал $\mu_2 - [0,5 + \varepsilon \leq \mu \leq 0,5 - \varepsilon]$, где ε - окрестность точки, в которой шансы достичь целевой ситуации или не достичь ее, примерно равны. Здесь мотивации для образования коалиции средние;
- интервал $\mu_3 - [1 \leq \mu \leq 0,5 + \varepsilon]$. Игроки, возможность достижения целевой ситуации которых попадает в этот интервал, могут достичь целевой ситуации за счет только собственных ресурсов, т.е. мотивации для образования коалиции у таких игроков низкие.

Гипотеза о росте мотивации образования коалиции при уменьшении возможности достижения целевой ситуации правдоподобна, поскольку, чем меньше возможность достижения целевой ситуации, $\mu_3 > \mu_2 > \mu_1$, тем выше мотивации образования

коалиции, $m_\mu(\mu_1) > m_\mu(\mu_2) > m_\mu(\mu_3)$. Упорядоченное множество лингвистических значений мотивации объединения в коалицию следующее: $m_\mu = \{\text{высокий, средний, низкий}\}$.

3.3.3. Определение значений критерия привлекательности игроков

Значения критерия привлекательности игроков определяются экспертным способом. Для выполнения экспертной процедуры на плоскости ($0 \leq e_q \leq E_{\max}$, $0 \leq \mu_q \leq 1$) выделим области, полученные прямым произведением ранее выделенных интервалов эффективности и возможности достижения целевой ситуации $\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\} \times \{e_1, e_2, e_3\}$. Для каждой области определена пара: лингвистическое значение уровня мотиваций участия в конфликтной ситуации и лингвистическое значение уровня мотивации объединения в коалицию $m_e \times m_\mu$.

Для экспертной оценки значений уровня привлекательности игрока эксперту представляется пара возможных значений мотиваций участия в конфликтной ситуации и мотиваций образования коалиции из $m_e \times m_\mu$, для которой эксперт определяет значение m_q функции $f: m_e \times m_\mu \rightarrow m_q$. Возможны девять значений критерия привлекательности игрока, которые используются для характеристики потенциальных сторонников.

Авторский вариант экспертных характеристик выделенных областей приводится ниже:

1. $\mu_1 \times e_1 = ([0 \leq \mu \leq 0,5 - \varepsilon], [0 \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ - область характеризуется высоким уровнем мотивации для образования коалиции, однако низкая эффективность достижения целевой ситуации, означающая отсутствие у игроков ресурсов, снижает мотивации их участия в игре и делает их непривлекательными сторонниками.

2. $\mu_2 \times e_1 = ([0,5 + \varepsilon \leq \mu \leq 0,5 - \varepsilon], [0 \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ - область риска по возможности достижения целевой ситуации характеризуется средними мотивациями для образования коалиции и низкой эффективностью достижения целевой ситуации игроков. Если значения μ_q и e_q потенциальных сторонников попадают в эту область, то они считаются также непривлекательными сторонниками.

3. $\mu_3 \times e_1 = ([1 \leq \mu \leq 0,5 + \varepsilon], [0 \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ - область характеризуется высокой возможностью достижения целевой ситуации и, следовательно, низким уровнем мотивации образования коалиции, а также низким уровнем мотивации

участия в игре. У игроков, значения μ_q и e_q которых попадают в эту область, есть ресурс для достижения целевой ситуации, но достижение этой ситуации им не выгодно. Такие игроки – это потенциальные лоббисты. При выборе этих игроков в качестве сторонников, необходимо вознаграждение, которое должно обеспечить им необходимый уровень эффективности целевой ситуации.

4. $\mu_1 \times e_2 = ([0 \leq \mu \leq 0.5 - \varepsilon], [1 + \varepsilon \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ – игроки, значения μ_q и e_q которых попадают в эту область, не могут достичь целевой ситуации, имеют высокий уровень мотиваций образования коалиции, однако мотивации участия в игре у них не очень высокие. Это колеблющиеся сторонники из-за низкой эффективности и неопределенности получения выигрыша.

5. $\mu_2 \times e_2 = ([0.5 + \varepsilon \leq \mu \leq 0.5 - \varepsilon], [1 + \varepsilon \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ – игроки, попавшие в эту область, находятся в зоне риска по возможности достижения цели и по эффективности достижения целевой ситуации. Мотивации образования коалиции и участия в игре средние и неустойчивые. Это колеблющиеся сторонники.

6. $\mu_3 \times e_2 = ([0.5 + \varepsilon \leq \mu \leq 1], [1 + \varepsilon \leq e \leq 1 - \varepsilon])$ – игроки, попавшие в эту область, могут достичь целевой ситуации. Мотивации образования коалиции – низкие. Однако мотивации для участия в игре – средние. Этих игроков можно охарактеризовать как лоббистов, но с личным интересом. Если такие игроки будут выбраны в качестве сторонников, то необходимо вознаграждение для обеспечения их эффективности достижения целевой ситуации. Однако платеж для этой категории игроков может быть меньше, чем у чистых лоббистов, описанных в пункте 3 из-за их некоторой личной заинтересованности в достижении цели.

7. $\mu_1 \times e_3 = ([0 \leq \mu \leq 0.5 - \varepsilon], [E_{max} \geq e \geq 1 + \varepsilon])$ – область характеризуется низкой возможностью достижения целевой ситуации и, следовательно, высокой мотивацией к образованию коалиции. Кроме этого, мотивации участия в игре для достижения целевой ситуации высокие. Это надежные и привлекательные потенциальные сторонники.

8. $\mu_2 \times e_3 = ([0.5 + \varepsilon \leq \mu \leq 0.5 - \varepsilon], [E_{max} \geq e \geq 1 + \varepsilon])$ – в этой области игроки находятся в зоне риска по возможности достижения цели, имеет высокий уровень мотиваций к образованию коалиции и высокий уровень мотивации участия в игре. Эти игроки могут искать союзников, но могут

на свой страх и риск участвовать в игре как самостоятельная сила. Это надежные сторонники.

9. $\mu_3 \times e_3 = ([1 \leq \mu \leq 0.5 + \varepsilon], [E_{max} \geq e \geq 1 + \varepsilon])$ – в этой области игроки самостоятельно за счет собственных ресурсов могут достичь цели. Мотиваций образования коалиций нет, а мотивации участия в игре достаточно высокие. Это игроки единоличники.

Пример экспертных оценок лингвистических значений критерия привлекательности, представленных на плоскости ($0 \leq e_q \leq E_{max}$, $0 \leq \mu_q \leq 1$), показан на Рис. 3. Оценки, представленные на плоскости, будем называть таблицей принятия решений для поиска сторонников по коалиции.

4. Поддержка принятия решений по образованию коалиции

Каждый игрок $q \in K$ из множества потенциальных сторонников характеризуется парой – возможность (μ_q) и эффективность (e_q) достижения целевой ситуации. Представим каждого игрока, в том числе и игрока, принимающего решение, точкой e_q, μ_q на интерпретированной значениями привлекательности плоскости $0 \leq e_q \leq E_{max}$, $0 \leq \mu_q \leq 1$ (Рис.4). В этом случае каждый игрок получает лингвистическое значение привлекательности для образования коалиции, по названию той области, к которой принадлежат значения его возможность μ_q и эффективность e_q достижения цели.

Общие рекомендации для игрока, принимающего решение при выборе сторонников для создания устойчивой коалиции, основаны на анализе позиции этого игрока в таблице принятия решений относительно позиций потенциальных сторонников, с учетом ранее рассмотренных критериев взаимной полезности игроков и когнитивного диссонанса.

При анализе позиций потенциальных сторонников по коалиции по критерию взаимной полезности сделано следующее допущение: игрок, имеющий большее значение возможности достижения цели только за счет собственных ресурсов, считается более полезным, при объединении ресурсов игроков, для игрока, имеющего меньшее значение аналогичного показателя. Это допущение справедливо для аддитивных систем, к которым можно отнести линейные динамические системы, моделируемые когнитивными картами.



Рис.3. Таблица принятия решений для поиска сторонников по коалиции

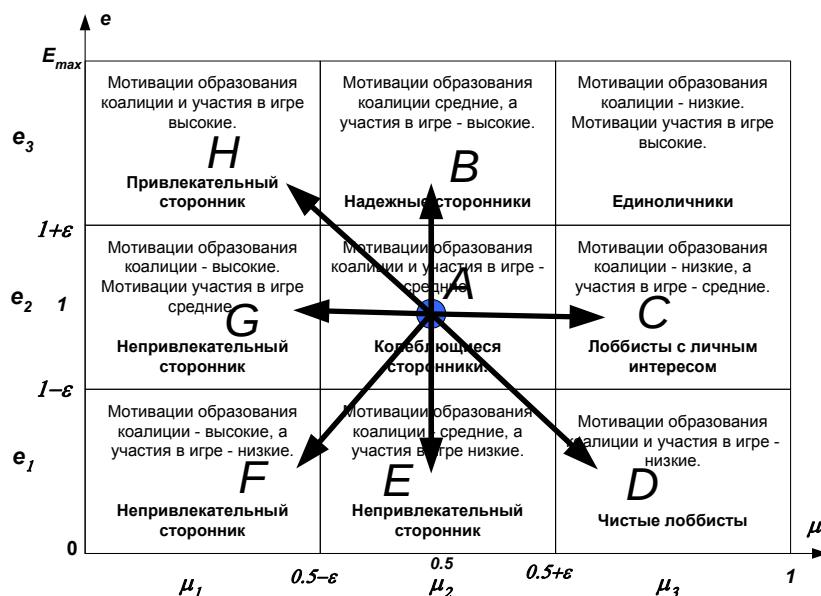


Рис.4. Пример выбора сторонников по коалиции

Лучшими сторонниками по коалиции для игрока, принимающего решения, являются игроки значения возможности достижения цели и эффективность достижения, цели которых близки к аналогичным показателям игрока. В этом случае все игроки коалиции имеют приблизительно равную взаимную полезность, эффективность достижения цели, и, следовательно, минимальные значения когнитивных диссонансов.

Коалиции с игроками, попадающими в соседние области, обладают ненулевыми значениями когнитивного диссонанса, который не всегда может быть компенсирован. Рассмотрим эти области подробнее.

1. Игроки, расположенные в направлении *A-B* (Надежные сторонники) имеют приблизительно равные значения возможности достижения цели с игроком, принимающим решение, однако их эффективность выше. Это означает,

что эти игроки получают больший результат с меньшими затратами. Несмотря на то, что игроки в этом направлении надежные сторонники, когнитивный диссонанс по эффективности между ними и игроком, принимающим решение, трудно устраним. Коалиция с такими игроками имеет скрытый конфликт, поэтому потенциально неустойчива.

2. Игроки, расположенные в направлении *A-C* (Лоббисты с личным интересом) имеют приблизительно равные значения эффективности достижения цели с игроком, принимающим решение, однако их возможности достижения этой цели выше. С игроками из этой области возникает когнитивный диссонанс по взаимной полезности, который может быть компенсирован подчинением игрока, принимающего решение игрокам из этой области. Устойчивая коалиция с такими игроками возможна, если игрок, принимающий решение, готов пожертвовать своей независимостью.

3. Игроки, расположенные в направлении *A-D* (Чистые лоббисты) имеют меньшие значения эффективности и большие значения возможности достижения цели, чем значение этих показателей у игрока, принимающего решение. В результате в направлении «Чистые лоббисты» возникают когнитивные диссонансы по взаимной полезности и эффективности. Первый диссонанс может быть компенсирован подчинением игрока, принимающего решение игрокам из этой области, а второй выплатой вознаграждения игрокам из этой области. Устойчивая коалиция с такими игроками возможна, если игрок, принимающий решение, готов пожертвовать своей независимостью и выплачивать премии чистым лоббистам.

4. Игроки, расположенные в направлении *A-E* и *A-F* (Непривлекательные сторонники), имеют меньшие значения эффективности и равные или меньшие возможности достижения цели, чем значение этих показателей у игрока, принимающего решение. Устойчивая коалиция с такими игроками маловероятна, из-за низкого уровня мотиваций участия в конфликте у игроков из этой области.

5. Игроки, расположенные в направлении *A-G* (Непривлекательные сторонники), имеют приблизительно равные значения эффективности достижения цели, с игроком, принимающим решение, однако их возможности достижения этой цели ниже. С игроками из этой

области возникает когнитивный диссонанс по взаимной полезности, который может быть компенсирован подчинением игроков из этой области игроку, принимающему решение. Устойчивая коалиция с такими игроками возможна, если они готовы пожертвовать своей независимостью.

6. Игроки, расположенные в направлении *A-H* (Привлекательные сторонники) имеют большее значение эффективности и меньшие значения возможности достижения цели, чем значение этих показателей у игрока, принимающего решение. В результате с игроками из этой области возникает когнитивные диссонансы по взаимной полезности и эффективности. Первый диссонанс может быть компенсирован подчинением игрока из этой области игроку, принимающему решение, а второй выплатой вознаграждения игроками из этой области игроку, принимающему решение. Устойчивая коалиция с такими игроками возможна, если они готовы пожертвовать своей независимостью и выплачивать премии игроку, принимающему решение.

Рекомендации игроку, принимающему решение, приведены для некоторой фиксированной его позиции (область «Колеблющиеся сторонники»). Однако для других позиций игрока эти рекомендации остаются верными, поскольку независимо от его позиции, в указанных в рекомендациях направлениях, взаимная полезность и когнитивные диссонансы потенциальных сторонников качественно не меняются и, следовательно, не меняется их поведение и основные характеристики потенциальных сторонников.

Заключение

Учитывая грубость описания целей, ресурсов и стратегий игроков, а также достаточно сильное допущение о единой для всех игроков нечеткой модели объекта управления, от приведенной выше модели поддержки принятия решений можно ожидать правдоподобные рекомендации, подсказки по выбору потенциальных сторонников для образования коалиции.

Система поддержки принятия решений, основанная на предложенной выше модели может быть использована на этапе подготовки переговорного процесса по образованию коалиции в условиях неопределенности.

Литература

1. Оуэн Г. Теория игр. М.: Мир, 1971.
2. Shapley L.S., Shubik M. A. Method for Evaluating the Distribution of Power in a Committee System / American Political Science Review. 1954. Vol. 48. P. 787-792.
3. Banzhaf J.F. Weighted Voting Doesn't Work: A Mathematical Analysis / Rutgers Law Review. 1965. Vol. 19. P. 317-343.
4. Алескеров Ф.Т. Индексы влияния, учитывающие предпочтения участников по созданию коалиций // ДАН. 2007. Т. 414. С. 594-597.
5. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. Изд. дом ГУ ВШЭ. М.2006. С. 300.
6. Heider F. Attitudes and cognitive organization. Journal of Psychology. 21, 1946. P. 107-112.
7. Алескеров Ф.Т. и др. О сбалансированности государственной Думы Российской Федерации (1994-2003 гг.): препринт WP7/2003/02. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2003.
8. Брамс С., Тейлор А. Делим по справедливости, или гарантии выигрыша каждому. М.: СИНТЕГ, 2002. С.196.
9. Смирнов А.В., Шереметов Л.Б. Модели формирования коалиций кооперативных агентов: состояние и перспективы исследований // Искусственный интеллект и принятие решений. № 1, 2011. С. 36-48.
10. Conte R. and Sichman J. S., DEPNET: How to benefit from social dependence, Journal of Mathematical Sociology, v. 20, 1995. P. 161-177.
11. Conte R., Edmonds B., Moss S. and Sawyer K., Sociology and Social Theory in Agent Based Social Simulation: A Symposium. Computational and Mathematical Organization Theory, v.7, n.3.2001. P. 183-205,
12. Хоманс Дж. Социальное поведение как обмен. // Современная зарубежная социальная психология. М., 1984. С. 83-91.
13. Фестингер Л. Теория когнитивного диссонанса. СПб.: Ювента, 1999.
14. Axelrod R., The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. - Princeton. University Press, 1976.
15. Новиков Д.А. «Когнитивные игры»: линейная импульсная модель. Проблемы управления. № 3, 2008. С. 14-22.
16. Mamdani E.H. Applications of fuzzy set theory to control system: A survey Fuzzy Automata and Decision Processes / M.M. Gupta, G.H. Saridis and B.R. Gaines, eds. - New York: North - Holland, 1977. P. 1 - 13.
17. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука. 1990
18. Майерс Д. Социальная психология / Перев. с англ. – СПб.: Питер, 1996. С. 682.
19. Кулинич А. А. Модель поддержки принятия решений в конфликтных ситуациях. Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (20-24 сентября 2010 г., г. Тверь, Россия): Труды конференции. Т.3. – М.: Физматлит, 2010. С. 179-188.
20. Kulinich A. Decision-making support in fuzzy conflict situations. Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy). August 28 - September 2, 2011. P. 830-834.

Кулинич Александр Алексеевич. Старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. В 1981 году окончил Государственный технический университет Армении (ЕрПИ). Кандидат технических наук. Автор более 60 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, поддержка принятия решений, когнитивная психология. E-mail: kulinich@ipu.ru