На правах рукописи

Бурых Игорь Владимирович

МОДЕЛИ АДАПТАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ КОМАНД ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

Специальность 05.13.10 - управление в социальных и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Воронеж - 2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент **Половинкина Алла Ивановна**

Научный консультант: доктор технических наук, профессор **Новиков Дмитрий Александрович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор **Леденева Татьяна Михайловна**

кандидат технических наук **Федорова Ирина Владимировна**

Ведущая организация: **ГОУВПО Липецкий государственный техничсекий университет**

Защита состоится «23» апреля 2008 г. в 12 ^{00} часов на заседании диссертационного совета Д 212.033.03 при Воронежском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, а. 3220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат диссертации разослан «24» марта 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Чертов В. А

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В условиях современного этапа научно – технического прогресса коренным образом изменилась роль человека в производстве. Если прежде он рассматривался лишь как один из факторов последнего, то сегодня превратился в главный стратегический ресурс, достояние компании в конкурентной борьбе. Это связано в его способностью к творчеству, которое сейчас становится решающим условием успеха любой деятельности. Люди теперь рассматриваются не как кадры, а как «человеческие ресурсы» и их ценность как фактора успеха все возрастает. Общепризнано, что человеческие ресурсы стали определяющими для достижения конкретных преимуществ современных экономик: не природные богатства, а накопленные знания, информация и опыт образуют основной материал, закладываемый в фундамент экономического процветания ведущих стран мира. Отсюда пристальный интерес, проявляемый к человеческому капиталу ведущими экономистами, а вслед за ними и политическими лидерами.

В современных условиях главным ресурсом эффективного хозяйствования является корпус специалистов. От их квалификации, деловой активности, умения взаимодействовать между собой и достичь социально значимого результата зависят судьбы людей и перспективы развития фирмы, экономического района. Одним из наиболее востребованных личных качеств, наряду с профессионализмом является способность специалиста действовать в команде. Командообразование – острая проблема во всех областях, где необходимо эффективное групповое участие (в бизнесе, политике, спорте). Создание команды представляет собой сложный творческий процесс, требующий огромных финансовых затрат и интеллектуальных усилий. Деятельность команд происходит в изменяющихся внешних условиях, поэтому важной является способность команды реагировать соответствующим образом на процесс изменения этих условий, путем изменения действий (включая в общем случае функции и объемы работ), выбираемых членами команды, на основе текущей информации в изменяющихся условиях, то есть адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. С адаптацией тесно связано обучение команды в процессе профессиональной деятельности, когда под влиянием изменяющихся внешних условий осуществляется изменение параметров системы, позволяющее реализовывать более эффективное в изменившихся условиях поведение.

Таким образом, **актуальность темы** диссертационной работы определяется необходимостью разработки комплекса моделей, описывающих процессы адаптации и обучения команд в ходе осуществления профессиональной деятельности.

Основные исследования, получившие отражение в диссертации, выполнялись по планам научно-исследовательских работ:

– федеральная комплексная программа «Исследование и разработки по приоритетным направлениям науки и техники гражданского назначения»;

– госбюджетная научно – исследовательская работа «Разработка и совершенствование моделей и механизмов внутрифирменного управления».

Цель и постановка задач исследования. Целью диссертации является разработка комплекса моделей адаптации и обучения команд, описывающих процесс изменения действий, выбираемых членами команды, на основе текущей информации в изменяющихся внешних условиях функционирования команды.

Достижение цели работы потребовало решения следующих основных задач:

1. Проанализировать существующие модели адаптации и обучения персонала.

2. Разработать модель адаптации одного агента к изменяющимся внешним условиям.

3. Получить модель адаптации команд при условии одинаковой информированности членов команды.

4. Разработать модель обучения одного агента в ходе своей профессиональной деятельности на основе накопления личного опыта.

5. Построить модель обучения членов команды в процессе работы при различных свойствах процесса итеративного научения.

Методы исследования. В работы использованы методы моделирования организационных систем управления, теории активных систем, системного анализа, математического программирования, теории игр.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Разработана модель адаптации агента на основе процесса изменения действий (включая в общем случае функции и объемы работ), выбираемых агентом, на основе текущей информации в изменяющихся внешних условиях функционирования команды, что позволяет отразить эффект приспособления к изменяющимся внешним условиям, также описать процесс адаптации агента как к резкому, так и к «медленному» изменению внешних условий.

2. Получена модель адаптации команд в предположении о том, что каждый агент наделяет оппонента той же информированностью, какой обладает он сам, что позволяет определить время адаптации команды – время, за которое при неизменной внешней среде агенты на основании наблюдаемой информации могут однозначно идентифицировать состояние внешней среды.

3. Разработана модель обучения одного агента, отличающаяся тем, что объем уже выполненных агентом работ условно отражает накопленный им «опыт», что позволяет определять оптимальный выбор объемов работ, выполняемых агентом в те или иные промежутки времени.

4. Построена модель обучения членов команды в процессе работы, когда процесс итеративного научения аппроксимируется экспоненциальной и логистической кривой, что позволяет установить, что условием стабильного и эффективного функционирования команды является наличие общего знания, на формирование которого обычно нацелено большинство организационных и других усилий в процессе формирования и обучения команды.

Достоверность научных результатов. Научные положения, теоретические выводы и практические рекомендации, включенные в диссертацию, обоснованы математическими доказательствами. Они подтверждены расчетами на примерах,

производственными экспериментами и многократной проверкой при внедрении в практику управления.

Практическая значимость и результаты внедрения. На основании выполненных автором исследований построены модели адаптации и обучения команд в процессе профессиональной деятельности, как результат реакции команды на изменение внешних условий в которых она функционирует.

Использование разработанных в диссертации моделей и механизмов позволяет многократно применять разработки, тиражировать их и осуществлять их массовое внедрение с существенным сокращением продолжительности трудозатрат и средств.

Разработанные модели используются в практике работы АОО «ЛУЧ» (г. Воронеж) и ЗАО «СТЕЛ-ИНВЕСТ» (г. Воронеж).

Модели, алгоритмы и механизмы включены в состав учебного курса «Управление персоналом», читаемого в Воронежском государственном архитектурно – строительном университете.

На защиту выносятся:

1. Модель адаптации агента к изменившимся внешним условиям, когда под адаптацией понимается изменение информированности о внешней среде и на основе этого знания изменение поведения (действий, выбираемых на основе имеющейся информации).
2. Модель адаптации команд, отражающая эффекты приспособления, привыкания членов команды к изменяющимся внешним условиям, что выражается изменением действий, выбираемых членами команды.
3. Модель обучения одного агента в ходе профессиональной деятельности на основе накопления опыта.
4. Модель обучения членов команды в процессе работы, когда недостаток начальной квалификации агента может быть успешно компенсирован эффективным обучением как на его собственном, так и чужом опыте.

Апробация работы.

Основные результаты исследований и научных разработок докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международные конференции «Современные сложные системы управления» (Воронеж, 2005 г., г. Тверь, 2006 г.); международная научно-практическая конференция «Сложные системы управления и менеджмент качества» (г. Старый Оскол, 2007 г.); 60 – 62 научно-технические конференции по проблемам архитектуры и строительных наук (Воронеж, ВГАСУ, 2005-2007 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ в том числе 4 работы в опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: в работах [1], [3] автору принадлежит модель адаптации команд; в работе [2] автору принадлежит модель адаптации агента к изменившимся внешним условиям; в работе [4] автору принадлежит модель обучения членов команды в процессе работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Она содержит 140 страниц основного текста, 23 рисунка, 4 таблицы и приложения. Библиография включает 171 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность, описывается цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе отмечается, что потенциал команды, как правило, значительно превышает потенциал, рабочей группы. Но команда требует и большего вклада от всех членов для реализации этого потенциала. Команда - это, прежде всего социальная группа, в которой неформальные отношения между ее членами могут иметь большее значение, чем формальные, а действительная роль и влияние конкретной личности не совпадать с ее официальным статусом и весом. Команды - это реально функционирующие структуры, которые все чаще используются для эффективного выполнения работы, во много раз повышая скорость и качество работы.

Но команды создаются и функционируют в конкретных условиях внешней среды, которая может быть подвержена значительным изменениям с течением времени. Естественно возникает потребность каким-то образом реагировать на эти изменения. В качестве такой реакции, как правило, рассматривается изменение действий (включая в общем случае функции и объемы работ), выбираемых членами команды, на основе текущей информации в изменяющихся внешних условиях функционирования команды, что и понимается под адаптацией команды к изменениям.

Традиционно выделяют четыре вложенных уровня адаптации любой системы: изменение информированности о внешней среде; изменение поведения (действий, выбираемых на основе имеющейся информации); изменение параметров системы, позволяющее реализовывать более эффективное в изменившихся условиях поведение; целенаправленное изменение внешней среды (активная адаптация).

Третий уровень адаптации может быть охарактеризован как обучение команды в процессе профессиональной деятельности. Обучение и адаптация тесно связаны, но обучение может происходить и при постоянных внешних условиях, а адаптация имеет место только при наличии их изменений.

К сожалению, существующие модели, описывающие процесс адаптации и обучения исходят из представления процесса адаптации как приспособление сотрудника или коллектива к требованиям, предъявляемым организацией. Возможен и обратный процесс, когда организация или ее часть адаптируется под требования отдельного сотрудника или их группы. Примером может служить смена собственника или управленческой команды. То есть в данном случае рассматривается задача управления персоналом без учета особенностей команды, как реально существующей организационной формы.

Таким образом, основная задача диссертационного исследования определяется необходимостью разработка комплекса моделей адаптации и обучения команд, описывающих процесс изменения действий, выбираемых членами команды, на основе текущей информации в изменяющихся внешних условиях функционирования команды представляется актуальной задачей.

Во второй главе рассматривается понятие адаптации команд. Специфика команд заключается, в частности, в том, что каждый агент в качестве информации для корректировки своих представлений о неопределенном параметре может использовать не только результаты наблюдения за внешней средой, но и результаты наблюдения за действиями и результатами деятельности других агентов, пытаясь «объяснить», почему они выбрали именно эти действия.

Перейдем к описанию модели. «Условия существования» команды $N = \{1,2, \ldots, n\}$, состоящей из n агентов, отразим в модели значением состояния природы $\theta \in \Omega$, описывающим все существенные характеристики внешней среды. Агент с номером $i \in N$ имеет интервальную информацию $\omega_i(\theta) \subseteq \Omega$ о состоянии природы, причем эта информация не противоречит истинному положению дел, то есть $\forall\, \theta \in \Omega$, $\forall\, i \in N$ $\theta \in \omega_i(\theta)$. Традиционно в теории управления при рассмотрении моделей адаптации большее внимание уделяется случаю вероятностной неопределенности относительно внешней среды. Использование развитого в этой области математического аппарата применительно к задачам адаптации команд представляется перспективным направлением будущих исследований.

Результат $z = G(\theta, x)$ команды в целом зависит от вектора $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in X' = \prod_{i \in N} X_i$ действий всех членов команды, где $x_i \in X_i$, и состояния природы θ. Будем считать, что каждый агент наблюдает вектор действий всех агентов, общий результат и выигрыши всех агентов.

Предположим, что выигрыш каждого агента зависит от состояния природы θ и результата z команды в целом: $f_i(z) = f_i(\theta, G(x, \theta))$, $i \in N$, причем множество агентов N, их действительнозначные целевые функции $\{f_i(\cdot)\}$ и допустимые множества $\{X_i\}$, а также множество Ω возможных значений состояний природы, функция $G(\cdot)$ и факт наблюдения как результата и выигрышей, так и всего вектора действий каждым членом команды являются среди них общим знанием. Возможными расширениями модели являются предположения о том, кто из агентов какие величины наблюдает – ненаблюдаемыми для агента могут быть вектора действий других агентов, их выигрыши и др. Если агенты выбирают свои действия одновременно и независимо, то имеет место их игра.

Обозначим множество параметрических (параметром является значение состояния природы) равновесий Нэша через

$$E_N(\theta) = \{\{x_i\}_{i \in N} \in X' \mid \forall\, i \in N, \forall\, y_i \in X_i$$
$$f_i(\theta, G(\theta, x_1, \ldots, x_n)) \geq f_i(\theta, G(\theta, x_1, \ldots, x_{i-1}, y_i, x_{i+1}, \ldots, x_n))\}. \quad (1)$$

Если множество Ω_0 возможных значений состояний природы является общим знанием среди агентов, то, предполагая, что они устраняют неопределенность вычислением максимального гарантированного результата, получим следующее множество равновесий их игры:

$$E(\Omega_0) = \{\{x_i\}_{i \in N} \in X' \mid \forall\, i \in N, \forall\, y_i \in X_i \ \min_{\theta \in \Omega_0} f_i(\theta, G(\theta, x_1, \ldots, x_n)) \geq$$
$$\geq \min_{\theta \in \Omega_0} f_i(\theta, G(\theta, x_1, \ldots, x_{i-1}, y_i, x_{i+1}, \ldots, x_n))\}.$$

Обозначим $\pi(x) \subseteq \Omega$ – множество состояний природы, при которых наблюдаемый агентами вектор их действий является равновесием:

$$\pi(x) = \{\theta \in \Omega \mid \exists\, \Omega_0 : \theta \in \Omega_0,\ x \in E(\Omega_0)\}. \qquad (2)$$

Обозначим $g = (g_1, g_2, \ldots, g_n) \in \Re^n$ – наблюдаемый агентами вектор значений их целевых функций.

Обозначим множество тех значений состояний природы, при которых (наряду с наблюдаемым результатом z) могут реализоваться наблюдаемые выигрыши агентов g через

$$\delta(g, z) = \{\theta \in \Omega \mid f_j(\theta, z) = g_j,\ j \in N\}. \qquad (3)$$

Проанализируем более детально информированность агентов. У i-го агента имеются, как максимум, четыре «источника информации» о состоянии природы:

1) априорная частная информация $\omega_i(\theta) \subseteq \Omega$;

2) действия других агентов: наблюдая их и предполагая, что оппоненты действуют рационально, агент может осуществлять рефлексию – оценивать ту информацию $\pi(x)$ о состоянии природы, на основании которой рационален выбор оппонентами именно этих действий. Возможны и более сложные случаи – когда имеет место нетривиальная взаимная информированность агентов. Тогда вместо параметрического равновесия Нэша следует использовать информационное равновесие игры агентов.

3) выигрыши g агентов – на основании этой информации агенты могут сделать вывод о тех состояниях природы, при которых наблюдаемый результат приводит к наблюдаемым выигрышам – см. выражение (3);

4) множество $\rho \subseteq \Omega$ состояний природы, при которых наблюдаемый вектор действий агентов приводит именно к данному наблюдаемому значению z результата:

$$\rho(x, z) = \{\theta \in \Omega \mid G(\theta, x) = z\}. \qquad (4)$$

Отметим, что в силу введенных предположений информация пунктов 2)-4) является общим знанием среди агентов, то есть, с точки зрения друг друга они, наблюдая одни и те же параметры, должны одинаково (и предсказуемо для оппонентов) изменять свои представления о состоянии природы. То есть, общим знанием является информация

$$I(x, z, g) = \pi(x) \cap \rho(x, z) \cap \delta(g, z) \subseteq \Omega.$$

Этим предположением, наряду с предположением о том, что каждый агент считает, что имеет место общее знание на первом уровне структуры информированности, исключается из рассмотрения (но не из предметов дальнейших исследований) рефлексия агентов относительно информированности оппонентов.

На основании перечисленных источников информации i-ый агент может вычислить оценку $J_i \subseteq \Omega$ значения состояния природы как пересечение общего знания $I(x, z, g)$ с его частной информацией ω_i:

$$J_i(\omega_i, x, z, g) = \omega_i \cap I(x, z, g). \qquad (5)$$

Обозначим θ_0 – фактическое значение состояния природы и рассмотрим последовательно в порядке усложнения несколько моделей: один агент – несколько агентов, статика – динамика. Под «статикой» в рассматриваемой дискретной модели подразумевается однократный выбор агентами своих действий, под «динамикой» – последовательность таких выборов.

Если агент принимает решение однократно, то на момент принятия решений о выбираемом им значении своего действия ему известно только множество $\omega \subseteq \Omega$ значений состояний природы. Будем считать, что, принимая решение в условиях интервальной неопределенности, агент использует принцип максимального гарантированного результата, то есть, выбирает действие:

$$x_{МГР}(\omega) = \arg \max_{x \in \Lambda} \min_{\theta \in \omega} f(\theta, G(\theta, x)). \qquad (6)$$

Так как рассматривается статическая ситуация (однократный выбор агентом своего действия), и другие агенты отсутствуют, то агент не может использовать информацию (4) о наблюдаемом им результате или своем выигрыше.

Пример 1. Пусть $n = 1$, $x \geq 0$, $\Omega = [1; 4]$, $\omega = [2; 4]$; $\theta_0 = 3$, $z = x / \theta$,

$$f(\theta, z) = (\theta - \alpha z) z - z^2 / 2, \qquad (7)$$

где $\alpha > 0$ – известная размерная константа. Содержательно, если интерпретировать агента как производителя некоторой продукции, спрос на которую зависит от объема производства, то θ может рассматриваться как уровень спроса (по объему и по качеству) – чем больше значение θ, тем выше цена $(\theta - \alpha z)$ и выше требования к качеству – для обеспечения одного и того же «объема» нужны бóльшие усилия – действие x. Чем выше объем производства, тем цена ниже.

В соответствии с целевой функцией (7) выигрыш агента представляет собой разность между выручкой (произведением цены на объем производства) и затратами, которые описываются квадратичной зависимостью.

Если бы значение состояния природы было достоверно известно агенту, то ему следовало бы выбирать действие

$$x^*(\theta) = \frac{\theta^2}{2\alpha + 1}, \qquad (8)$$

максимизирующее целевую функцию, зависящую от состояния природы и его действия:

$$f_0(\theta, x) = (\theta - \alpha x / \theta) x / \theta - x^2 / (2 \theta^2). \qquad (9)$$

Так как целевая функция (7) монотонно возрастает по θ при любых допустимых действиях агента, то в соответствии с выражением (6)

$$x_{МГР}(\omega) = 4 / (2 \alpha + 1). \qquad (10)$$

Наблюдая (10) и либо результат $x_{МГР}(\omega) / \theta_0$, либо свой выигрыш $f(\theta_0, x_{МГР}(\omega) / \theta_0)$, а, тем более, обе эти величины одновременно, агент может однозначно оценить истинное значение θ_0 состояния природы.

Приведенный пример иллюстрирует ситуации, когда однократного наблюдения агентом соответствующей информации достаточно для восстановления истинного значения состояния природы. При этом нет нужды ни в повторных наблюдениях, ни в информации о выборах других агентов (если бы таковые име-

лись). Однако, возможны случаи, когда однократного наблюдения агенту недостаточно.

Рассмотрим поведение нескольких агентов в динамическом случае.

Обозначим $x_i^t \in X_i$ – действие i-го агента в момент времени t, $x^{1,t}$ – совокупность векторов действий всех агентов за t периодов. К окончанию периода t общим знанием среди агентов является информация

$$I(x^t, z^t, g^t) = \pi(x^t) \cap \rho(x^t, z^t) \cap \delta(g^t, z^t) \subseteq \Omega.$$

На основании всех источников информации i-ый агент за t периодов может вычислить оценку $J_i^t \subseteq \Omega$ значения состояния природы как пересечение общего знания $I(x^t, z^t, g^t)$ с его частной информацией J_i^{t-1}, соответствующей предыдущему периоду:

$$J_i^t = J_i^{t-1} \cap I(x^t, z^t, g^t). \qquad (11)$$

Другими словами, его оценка состояния природы сузится до множества

$$J_i^t(\omega_i, x^{1,t}, z^{1,t}, g^{1,t}) = \omega_i \cap \bigcap_{\tau=1}^{t} I(x^\tau, z^\tau, g^\tau). \qquad (12)$$

Введем такое понятие, как «время адаптации команды» – время, за которое при неизменном значении состояния природы агенты на основании наблюдаемой информации могут однозначно идентифицировать состояние природы. Значение времени адаптации (продолжительности переходного процесса) определяется тем, какие параметры наблюдают агенты, размерностью вектора, описывающего состояние природы, а также свойствами точечно-множественных отображений (2)-(4).

Время адаптации сокращается (корректней говоря – не увеличивается) с увеличением числа наблюдаемых членами команды параметров и возрастает (корректней говоря – не уменьшается) с увеличением размерности вектора, описывающего состояние природы, и/или ростом априорной неопределенности (расширением множеств $\{\omega_i\}$, описывающих частную информацию агентов).

Пример 2. Рассмотрим модель олигополии Курно, функционирующей в условиях неопределенности. Пусть $n = 2$, $x_i \geq 0$, $i = 1, 2$, $z = x_1 + x_2$, $\Omega = [1; 5]$, $\omega_1 = [1; 4]$; $\omega_2 = [2; 5]$; $\theta_0 = 3$, где $\alpha > 0$, $r > 0$ – известные размерные константы. То есть, агенты различаются лишь своей информированностью о состоянии природы.

Предположим теперь, что имеются два агента, каждый из которых наблюдает только свое действие и свой выигрыш. Тогда в результате наблюдений i-ый агент получает уравнение

$$(\theta - \alpha (x_1 + x_2)) (x_1 + x_2) - x_i^2 r / 2 = g_i \qquad (13)$$

с двумя неизвестными – x_{3-i} и θ, i =1, 2.

Если каждый из агентов считает, что имеет место общее знание, то есть наделяет оппонента той же информированностью, какой обладает он сам, то он должен считать, что оппонент выберет то же действие, что и выбирает рассматриваемый агент (напомним, что в данном примере агенты различаются лишь своей информированностью о состоянии природы). Подставляя в (13) реальный выигрыш агента и

$$x_{3-i} = x_{МГРi}(\omega_i),$$

получим:

$$(\theta - 2\,\alpha\, x_i^1)\, 2\, x_i^1 - (x_i^1)^2\, r / 2 = (\theta_0 - \alpha\,(x_1^1 + x_2^1))\,(x_1^1 + x_2^1) - (x_i^1)^2\, r / 2, \qquad (14)$$

откуда i-ый агент может вычислить на конец первого периода нижнюю оценку

$$\theta_i^1 = (\theta_0 - \alpha\,(x_1^1 + x_2^1))\,(x_1^1 + x_2^1) / 2\, x_i^1 + 2\,\alpha\, x_i^1 \qquad (15)$$

значения состояния природы, i = 1, 2.

Предположим, что $\alpha = r = 1$, тогда

$$x_1^1 = 0{,}2,\ x_2^1 = 0{,}4,\ \theta_1^1 = 4,\ \theta_2^1 = 2{,}6.$$

Во втором периоде агенты подставят соответствующие оценки θ_1^1 и θ_2^1 в выражение для выбираемого действия в случае информированности о состоянии природы, то есть выберут действия

$$x_1^2 = 0{,}8,\ x_2^2 = 0{,}52,$$

подставят их в аналог выражения (14), вычислят новые оценки состояния природы и т.д.

В общем случае динамика оценок состояния природы агентами имеет вид (ср. с (14)):

$$\theta_i^t = (\theta_0 - \alpha\,(x_1^t + x_2^t))\,(x_1^t + x_2^t) / 2\, x_i^t + 2\,\alpha\, x_i^t, i = 1, 2, t = 1, 2, \ldots . \qquad (16)$$

На основании этих оценок агенты будут выбирать действия:

$$x_i^t(\theta_i^{t-1}) = \frac{\theta_i^{t-1}}{4\alpha + r},\ i = 1, 2, t = 1, 2, \ldots . \qquad (17)$$

Таким образом, адаптация команды в рассматриваемом примере будет описываться системой (16)-(17) итерированных функций с начальными условиями, определяемыми на основании априорной информации агентов в соответствии с принципом максимального гарантированного результата.

На рис. 1 и рис. 2 представлены соответственно динамика оценок состояния природы агентами (первый уровень адаптации) и динамика действий агентов (второй уровень адаптации).

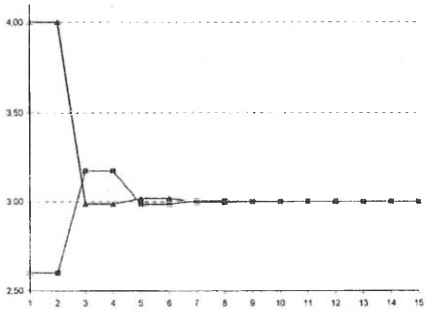

Рис.1. Динамика оценок состояния природы агентами
(первый агент – треугольники, второй – квадраты)

Видно, что процессы изменения агентами своих оценок сходятся (достаточно быстро – изменения через 8-10 шагов становятся малозаметными), причем сходятся они к истинному значению состояния природы. Кроме того, несмотря на

различную априорную информированность, агенты в результате выбирают одинаковые действия (что вполне естественно, так как целевые функции агентов одинаковы). В рассматриваемом примере время адаптации, строго говоря, равно бесконечности, хотя время попадания в любую наперед заданную непустую окрестность истинного значения состояния природы конечно.

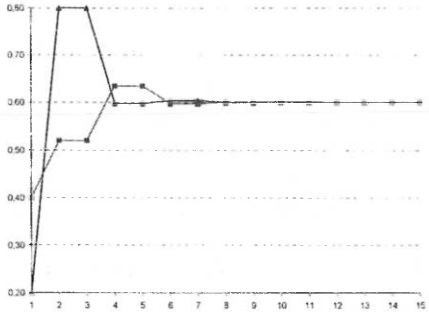

Рис. 2. Динамика действий агентов
(первый агент – треугольники, второй – квадраты)

Адаптация соответствует приспособлению, привыканию и т.п. к изменяющимся внешним условиям. Рассмотренные в настоящем разделе модели адаптации команд позволяют отражать эти эффекты. Приведем пример, иллюстрирующий процесс адаптации команды к резкому изменению внешних условий.

Пример 3. Предположим, что в условиях примера 2 на 11-ом шаге значение состояния природы изменилось и стало равно не 3, а 4, причем первоначальные оценки нового значения состояния природы были: у первого агента – 3,5, у второго – 4,5 (см. рис. 3).

В рассматриваемом примере характерное время изменения состояния природы равно 10 шагам. Время адаптации команды меньше него – за 10 шагов переходный процесс почти закончился. Адаптацию имеет смысл рассматривать, если время адаптации не превышает характерного времени изменения внешней среды.

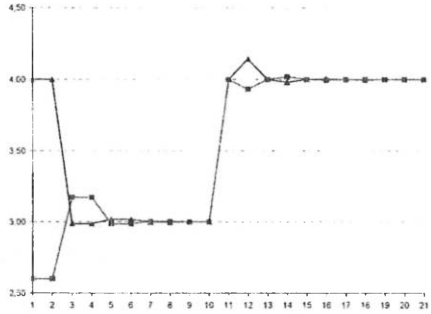

Рис. 3. Процесс адаптации команды к резкому изменению внешних условий на 11-ом шаге

Изменение внешних условий может происходить и постепенно, соответственно команда должна адаптироваться и к «медленным» изменениям условий своего функционирования.

В третьей главе отмечается, что члены команды в процессе совместной деятельности сознательно или неосознаваемо приобретают опыт как индивидуальной, так и совместной деятельности, то есть имеет место их научение (под научением понимается «процесс и результат приобретения индивидуального опыта»). Научение является частным случаем обучения – процесса овладения знаниями, умениями, навыками.

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют, что важнейшей общей закономерностью итеративного научения является замедленно-асимптотический характер кривых научения: они монотонны, скорость изменения критерия уровня научения со временем уменьшается, а сама кривая асимптотически стремится к некоторому пределу. В большинстве случаев кривые итеративного научения аппроксимируются экспоненциальными кривыми вида

$$r(t) = r^{\infty} + (r^0 - r^{\infty})\, e^{-\gamma t},\ t \geq 0, \tag{18}$$

или дискретной последовательностью

$$r^k = r^{\infty} + (r^0 - r^{\infty})\, e^{-\gamma k},\ k = 1, 2, \ldots, \tag{19}$$

где t – время научения, k – число итераций (проб, попыток) с момента начала научения, r(t) (r_k) – тип агента (уровень навыка, квалификация) в момент времени t (на k-ой итерации), $r^0 > 0$ – начальное значение (соответствующее моменту начала научения – первому периоду времени) типа, r^{∞} – «конечное» значение, $r^{\infty} \geq r^0$, γ – некоторая неотрицательная константа, определяющая скорость изменения типа и называемая скоростью научения. Условимся верхним индексом обозначать номер периода времени, а нижним индексом – номер агента. В случае, когда рассматривается единственный агент, нижний индекс будем опускать.

Рассмотрим сначала модель научения (обучения – так как мы рассматриваем только процесс научения, то различий между этими терминами делать не будем) единственного агента. Обозначим $y^k \geq 0$ – выполняемый им в k-ом периоде времени объем работ. Если интерпретировать тип агента (уровень навыка) $r^k \in [0; 1]$ как долю успешных действий агента, то, выполняя в периоде k объем работ y^k, агент достигнет результата $z^k = r^k y^k$.

Тогда результат агента – суммарный объем работ, успешно выполненных агентом за k периодов времени, равен

$$Z^k = \sum_{l=1}^{k} r^l y^l. \tag{20}$$

С другой стороны, агентом выполнен больший объем (успешных и неуспешных) работ:

$$Y^k = \sum_{l=1}^{k} y^l. \tag{21}$$

Этот объем работ условно можно считать тем «опытом», который приобрел агент, то есть, его «эффективным внутренним временем» (прошедшим с момента начала обучения и потраченным на обучение), и подставить в показатель экспоненты (18). Получим:

$$r^k = 1 - (1 - r^0)\exp(-\gamma Y^{k-1}),\ k = 2, 3, \dots . \qquad (22)$$

Обозначим $y^{1,\tau} = (y^1, y^2, \dots, y^\tau)$, $\tau = 1, 2, \dots$ и условимся считать, что $y^0 = 0$.

Объединяя (21) и (22), получим следующие выражения для соответственно объемов успешно выполненных работ и типов агента:

$$Z^k = \sum_{l=1}^{k} y^l \{1 - (1 - r^0)\exp(-\gamma \sum_{m=1}^{l-1} y^m)\}, \qquad (23)$$

$$r^k = 1 - (1 - r^0)\exp(-\gamma \sum_{l=1}^{k-1} y^l),\ k = 2, 3, \dots . \qquad (24)$$

Отметим, что при фиксированном суммарном объеме работ тип агента определяется выражением (22) однозначно и не зависит от того, как объемы работ распределены по периодам времени. Поэтому задача максимизации типа агента (достижения максимальной его квалификации) при фиксированном суммарном объеме работ Y^T в рамках рассматриваемой модели не имеет смысла.

В модели фигурируют три «макропараметра»: суммарный объем работ Y, число периодов T и результат Z. Искомой переменной является «траектория обучения» $y^{1,T}$.

Таким образом, получаем, что целесообразно рассматривать следующие постановки.

1. Фиксируем суммарный объем работ Y, который может выполнить агент, и результат Z, который необходимо достичь. Требуется найти траекторию, минимизирующую время достижения результата:

$$\begin{cases} T \to \min \\ Y^T \le Y \\ Z^T \ge Z \end{cases}. \qquad (25)$$

Задачу (25) можно условно назвать задачей о быстродействии.

2. Фиксируем суммарный объем работ Y, которые может выполнить агент, и время обучения T. Требуется найти траекторию, максимизирующую результат Z:

$$\begin{cases} Z^\tau \to \max \\ Y^\tau \le Y \\ \tau \le T \end{cases}. \qquad (26)$$

Задачу (26) можно условно назвать задачей об оптимальном обучении. Наверное, именно эта задача наиболее близка к проблемам педагогики, когда требуется за фиксированное время и при фиксированном объеме учебного материала так распределить его во времени (дидактические аспекты, то есть содержание, в силу рутинности предмета научения практически не имеют значения), чтобы максимизировать «объем усвоенного материала» (максимизировать «качество обучения»).

Так как выражение (23) монотонно по сумме объемов работ агента и длительности периода обучения, то задачу (26) можно записать в виде:

$$\sum_{l=1}^{T} y^l \exp(-\gamma \sum_{m=1}^{l-1} y^m) \to \min_{\{y^{1,T} | \sum_{\tau=1}^{T} y^\tau = Y\}}. \qquad (27)$$

В выражение (27) уже не входит начальная квалификация агента r^0, то есть справедливо следующее утверждение.

Утверждение 1. Оптимальная траектория обучения не зависит от начальной квалификации агента.

Данный вывод представляет интерес для методики обучения, так как с точки зрения результатов отдельных независимых агентов существенны только индивидуальные различия скоростей их научения.

3. Фиксируем время обучения T и результат Z, который требуется достичь. Требуется найти траекторию обучения, минимизирующую суммарный объем работ:

$$\begin{cases} Y^{\tau} \to \min \\ \tau \le T \\ Z^{T} \ge Z \end{cases}. \qquad (28)$$

Каждая из задач (25)-(28) может быть сведена к задаче (или набору задач) динамического программирования.

Пример 4. Решим задачу (26) для случая двух периодов. Если T = 2, то имеем два варианта. В первом $\tau = 1$, то есть $y^1 = Y$, тогда $Z^1 = r^0 Y$. Во втором $\tau = 2$, и, учитывая, что $y^2 = Y - y^1$, получим:

$$Z^2(y^1) = Y - (1 - r^0)\,[y^1 + (Y - y^1)\exp(-\gamma\, y^1)].$$

Легко видеть, что максимум этого выражения по $y^1 \in [0; Y]$ не зависит от r^0. То есть, оптимальное распределение объемов работ по периодам не зависит от начальной квалификации агента.

Кроме того, чем больше γ, тем меньше оптимальное значение объема работ, выполняемого в первом периоде. То есть, чем выше скорость научения агента, тем больший объем работ он должен выполнять в последнем периоде (и, соответственно, тем меньший объем работ необходимо выделять на начальный период для повышения его начальной квалификации).

Пример 5. Решим задачу (27) для случая T = 11, $r^0 = 0{,}1$, $\gamma = 0{,}5$, Y = 10.

Динамика типов агента представлена на рис. 4. Динамика оптимальных объемов работ представлена на рис. 5.

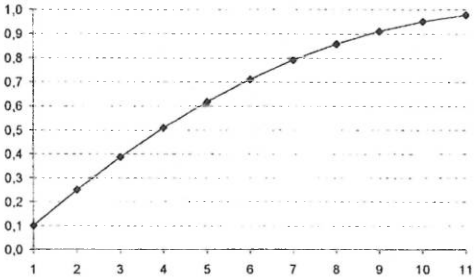

Рис. 4. Динамика типов агента в примере 5

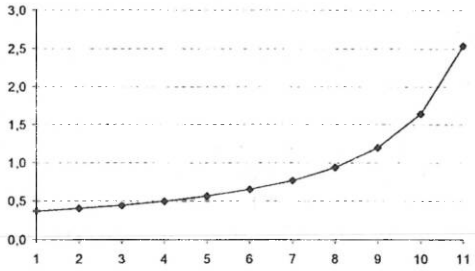

Рис. 5. Динамика оптимальных объемов работ в примере 5

Оптимальной стратегией обучения является увеличение объема работ агента со временем, причем, чем выше скорость обучения, тем более «выпуклой» является оптимальная траектория обучения. Качественно, данный вывод является следствием вогнутости экспоненциальной кривой научения (см. выражение (18) и рис. 4). Если кривая научения выпуклая (агент обучается все более и более эффективно), то оптимальная траектория обучения будет убывающей, то есть оптимальной стратегией обучения будет уже не увеличение, а уменьшение объема работ агента со временем.

До сих пор мы рассматривали одного агента. Обобщим полученные результаты на случай нескольких одновременно работающих агентов, причем сначала рассмотрим ситуацию, когда агенты полностью независимы (результаты и тип каждого не зависят от результатов и типов других), а потом проанализируем задачу об обучении зависимых агентов.

Рассмотрим команду $N = \{1, 2, \ldots, n\}$, состоящую из n агентов. По аналогии с выражениями (23) и (24), получим следующие выражения для соответственно объемов успешно выполненных работ и типов агентов:

$$Z_i^k = \sum_{l=1}^{k} y_i^l \{1-(1-r_i^0)\exp(-\gamma_i \sum_{m=1}^{l-1} y_i^m)\}, \tag{29}$$

$$r_i^k = 1-(1-r_i^0)\exp(-\gamma_i \sum_{l=1}^{k-1} y_i^l),\ k = 2, 3, \ldots,\ i \in N. \tag{30}$$

Если результат команды является суммой результатов агентов, то есть:

$$Z^k = \sum_{i=1}^{n} Z_i^k,\ k = 1, 2, \ldots, \tag{31}$$

то задача об оптимальном обучении команды (ср. с (26)) примет вид:

$$Z^T \to \max_{\{y_i^{1,T} | \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} y_i^t = V\}}, \tag{32}$$

то есть:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{l=1}^{T} y_i^l \{1-(1-r_i^0)\exp(-\gamma_i \sum_{m=1}^{l-1} y_i^m)\} \to \max_{\{y_i^{1,T} | \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} y_i^t = V\}}. \tag{33}$$

Задача (33) может быть решена методом динамического программирования.

Легко видеть, что оптимальное решение задачи (33) в общем случае зависит и от индивидуальных скоростей научения агентов $\{\gamma_i\}$, и от их начальных квалификаций $\{r_i^0\}$.

Утверждение 2. Если скорости научения агентов одинаковы, то оптимальным распределением работ является выполнение всего объема работ агентом с максимальной начальной квалификацией. Если начальные квалификации агентов одинаковы, то оптимальным распределением работ является выполнение всего объема работ агентом с максимальной скоростью научения.

Решение задачи об оптимальном обучении в случае, когда все агенты имеют одинаковые скорости научения, получилось «вырожденным» – работает и обучается один агент, а остальные не работают и не обучаются. С одной стороны, такой коллектив вряд ли можно назвать полноценной командой, с другой стороны, необходимо признать, что в жизни такие ситуации встречаются нередко.

Рассмотрены варианты решения поставленной задачи для случая, когда агенты различаются и начальными квалификациями, и скоростями научения.

Так как итеративное научение является одним из частных случаев научения, то, помимо экспоненциальных кривых, соответствующих итеративному научению, встречаются кривые научения других типов, в том числе – логистические, которые аппроксимируются зависимостью:

$$r(t) = r^0 r^\infty / (r^0 + (r^\infty - r^0)\, e^{-\gamma t}). \qquad (34)$$

При этом скорость изменения r(t) первоначально мала (некоторое время может требоваться на понимание задачи, идентификацию и осознание ситуации и т.п., то есть на первоначальную адаптацию), затем в окрестности точки перегиба скорость увеличивается (система интенсивно обучается), а потом начинает уменьшаться.

Пример 6. Решим задачу (27) для случая $T = 10$, $r^0 = 0{,}1$, $\gamma = 0{,}75$, $Y = 10$ при условии, что динамика типа агента описывается логистической кривой (34). Динамика типов агента представлена на рис. 6.

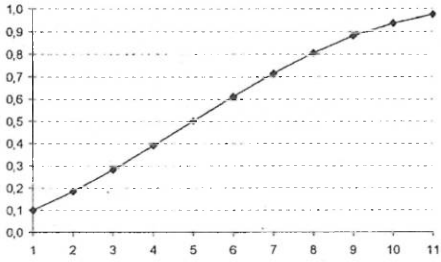

Рис. 6. Динамика типов агента в примере 6

Динамика оптимальных объемов работ представлена на рис. 7.

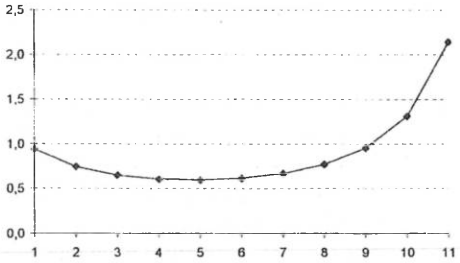

Рис. 7. Динамика оптимальных объемов работ в примере 6

Отметим, что результат утверждения 1 для команды, обучение членов которой описывается логистической кривой, не имеет места.

Задачи оптимального распределения работ между членами команды, научение которых описывается логистическим законом (34), формулируются аналогично соответствующим рассмотренным выше для экспоненциальных кривых научения задачам.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Перечислим основные результаты работы:

1. Существующие модели, описывающие процесс адаптации и обучения исходят из представления процесса адаптации как приспособление сотрудника или коллектива к требованиям, предъявляемым организацией. Возможен и обратный процесс, когда организация или ее часть адаптируется под требования отдельного сотрудника или их группы. То есть в данном случае рассматривается задача управления персоналом без учета особенностей команды, как реально существующей организационной формы.

2. Разработана модель адаптации агента на основе процесса изменения действий (включая в общем случае функции и объемы работ), выбираемых агентом, на основе текущей информации в изменяющихся внешних условиях функционирования команды, что позволяет отразить эффект приспособления к изменяющимся внешним условиям, а также описать процесс адаптации агента как к резкому, так и к «медленному» изменению внешних условий.

3. Получена модель адаптации команд в предположении о том, что каждый агент наделяет оппонента той же информированностью, какой обладает он сам, что позволяет определить время адаптации команды – время, за которое при неизменной внешней среде агенты на основании наблюдаемой информации могут однозначно идентифицировать состояние внешней среды.

4. Разработана модель обучения одного агента, позволяющая сделать вывод о том, что при фиксированном суммарном объеме работ одного агента результативные характеристики научения не зависят от того, как объемы работ распределены по периодам времени; решение задачи об оптимальном итеративном (повторяющемся) научении одного агента не зависит от его начальной квалификации и чем выше скорость научения агента, тем больший объем работ он должен выпол-

нять в последних периодах. Так как суумарный объем работ фиксирован, то с ростом скорости научения все меньший объем работ необходимо выделять на начальные периоды для повышения начальной квалификации агента.

5. Построена модель обучения членов команды в процессе работы на основе анализа которой можно отметить, что оптимальной стратегией итеративного научения является увеличение объема работ агента со временем, причем, чем выше скорость обучения, тем более «выпуклой» является оптимальная траектория обучения; в тоже время если отсутствуют ограничения на индивидуальные объемы работ, то в команде весь объем работ выполняет «лучший» (с точки зрения комбинации начальной квалификации и скорости научения) агент; недостаток начальной квалификации агента может быть успешно компенсирован эффективным обучением как на его собственном, так и чужом опыте и важнейшим условием стабильного и эффективного функционирования команды является наличие общего знания, на формирование которого обычно нацелено большинство организационных и других усилий в процессе формирования и обучения команды.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Бурых И.В. Механизм адаптации членов команды / Бурых И.В., Новиков Д.А. // ВЕСТНИК ВГТУ, Том 3, №12, 2007 г. – с. 112 – 115.

2. Бурых И.В. О некоторых механизмах оперативного управления проектами / Бурых И.В., Новиков Д.А.//ВЕСТНИК ВГТУ, Том 3, №12, 2007 г. – с. 167 – 170.

3. Бурых И. В. Формирование и функционирование однородной команды / Баркалов С.А., Бурых И. В., Половинкина А.И. // Вестник ВГТУ, том 4, №1, 2008 г. – с. 167 – 170.

4. Бурых И.В. Модель типизации взаимодействий исполнителей проекта / Белов А.А., Бурых И.В. // Вестник ВГТУ, том 4, № 1, 2008 г. – с. 171 – 176.

Статьи и материалы конференций

5. Бурых И.В. Механизмы формирования состава и структуры активной системы. //В кн.: Системный анализ и его приложения. / Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Новосельцев В.И., Шульгин В.В. – Воронеж «Научная книга» 2008. – с. 381 – 383.

6. Бурых И.В. Адаптация команд. //В кн.: Математические модели формирования и функционирования команд / Новиков Д.А. – М.: «Физматлит» 2008. – с. 117 – 135.

7. Бурых И.В. Обучение в командах. //В кн.: Математические модели формирования и функционирования команд / Новиков Д.А. – М.: «Физматлит» 2008. – с. 135 – 153.

Подписано в печать 21.03.2008. Формат 60x84 1/16. Уч. – изд. л. 1,0 Усл.-печ. 1,25 л.
Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ №153

Отпечатано участком множительной техники Воронежского государственного архитектурно – строительного университета

394006. Воронеж, 20 лет Октября, 84