

---

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»  
Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики  
Центр практик и стажировок ФПМИ

**Направление подготовки / специальность:** 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

**Направленность (профиль) подготовки:** Технологическое лидерство

**РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭМОЦИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АГЕНТАМИ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПЕРСОНАЛОМ**

(магистерская диссертация)

**Студент:**

Павлюченков Дмитрий Михайлович

---

*(подпись студента)*

**Научный руководитель:**

Помулев Александр Александрович,  
канд. экон. наук

---

*(подпись научного руководителя)*

**Консультант (при наличии):**

---

*(подпись консультанта)*

Москва 2025

---

## **Аннотация**

В работе рассматриваются современные подходы к моделированию эмоций в интеллектуальных агентах, а также предлагается развитие инструментов моделирования эмоций для повышения эффективности управления персоналом. Проведен анализ существующих моделей, таких как ЕМА, WASABI, MAMID, FLAME и других, с акцентом на их применимость в задачах управления коллективом и поддержки принятия решений. Предложена усовершенствованная модель, учитывающая индивидуальные и групповые эмоциональные состояния, а также механизмы их влияния на поведение агентов в организациях. Проведено моделирование различных сценариев взаимодействия, в том числе конфликтных и кооперативных ситуаций, с учетом эмоциональных факторов. Работа подкреплена анализом научной литературы, экспериментальными результатами и примерами практической реализации инструментов моделирования эмоций.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Подходы к моделированию эмоций</b>	<b>6</b>
2.1	Модель EMA: Emotion and Adaptation	7
2.2	Модель WASABI Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity	9
2.3	Multi-Agent Model of Individual Differences	10
2.4	Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions	12
2.5	Модель Silicon Coopelia	14
2.6	Сравнительный анализ моделей эмоциональных интеллектуальных агентов	15
<b>3</b>	<b>Модель ограниченно рационального эмоционального агента</b>	<b>17</b>
3.1	Основные компоненты модели	18
3.1.1	Агент	18
3.1.2	Генерация эмоций	19
3.1.3	Допустимые, желаемые и критичные значения ценностей	19
3.1.4	Жадное решение	19
3.1.5	Источники и направленность эмоций	20
3.1.6	Критичность изменения	20
3.1.7	Отношения между агентами	20
3.1.8	Оценка событий	21
3.1.9	Переоценка ценностей	21
3.1.10	Последствия и вероятность	21
3.1.11	Рациональное решение	21
3.1.12	Система-1	21
3.1.13	Система-2	22
3.1.14	Состояние аффекта	22
3.1.15	Фильтрация эмоций	22
3.1.16	Фокус внимания	22
3.1.17	Характер и ценности	23
3.1.18	Эмоциональный комфорт	25
3.1.19	Эмоциональный фон	26
3.2	Сценарий работы модели	26
3.2.1	Определения перед событием	26
3.2.2	Формирование ожиданий и планов когнитивной компонентой	26
3.2.3	Событие	27
3.2.4	Эмоции	28
3.2.5	Наивное сострадание	30
3.2.6	Оценка событий и возникновение эмоций	30
3.2.7	Фильтрация и система-1	30
3.2.8	Фокус	31
3.2.9	Эмоциональный фон	31
3.2.10	Принятие решений Системой-2	31
3.2.11	Отношения между агентами	32
3.2.12	Переоценка ценностей	33

<b>4</b>	<b>Примеры работы модели в различных игровых сценариях</b>	<b>34</b>
4.1	Игра о добыче ресурсов как многоагентная система . . . . .	34
4.2	Экспериментальные модификации . . . . .	35
4.3	Эмоциональная динамика в игровых сценариях . . . . .	35
4.3.1	Формализация эмоциональных триггеров . . . . .	35
4.3.2	Пример 1: Конфликт целей . . . . .	36
4.3.3	Пример 2: Эмоциональный резонанс . . . . .	36
4.4	Анализ стратегий поведения . . . . .	36
4.4.1	Оптимизация индивидуальной полезности . . . . .	36
4.4.2	Коллективная рациональность . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Эксперименты и результаты</b>	<b>37</b>
5.1	Описание модели в коде . . . . .	37
5.2	Описание игры . . . . .	40
5.3	Результаты моделирования . . . . .	40
5.4	Оценка модели . . . . .	44
5.5	Влияние модели эмоционального агента на эффективность управ- ления персоналом . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Заключение</b>	<b>50</b>
	<b>Список используемой литературы</b>	<b>52</b>

# 1 Введение

Современный этап развития искусственного интеллекта характеризуется переходом от узкоспециализированных алгоритмов к системам, способным имитировать комплексные когнитивные процессы человека. Особый научный и практический интерес вызывают интеллектуальные агенты с эмоциональной компонентой, чья архитектура объединяет рациональное принятие решений с аффективными реакциями [1]. Последние исследования демонстрируют, что интеграция эмоциональных моделей в агентные системы повышает эффективность их взаимодействия с людьми в условиях неструктурированных социальных ситуаций [2].

Ключевым трендом стало внедрение эмоционального интеллекта (ЭИ) в системы управления персоналом. Как показали эксперименты MIT [3], предсказание эмоциональных состояний сотрудников позволяет оптимизировать рабочие процессы и снижать уровень профессионального выгорания. Это достигается за счет архитектур типа EBDI (Emotional Belief-Desire-Intention), которые учитывают аффективные состояния при планировании действий [4].

Несмотря на прогресс в области аффективных вычислений, сохраняются существенные пробелы:

- отсутствие унифицированных онтологий для описания социальных отношений в рабочих коллективах
- ограниченный учет культурных различий в эмоциональном реагировании
- несовершенство методов валидации эмоциональных моделей в динамических средах

Кроме того, современные управленческие парадигмы, основанные на концепции полной рациональности агентов [6], сталкиваются с принципиальными ограничениями при моделировании реальных социальных систем. Как показали исследования Нобелевского лауреата Д. Канемана [7], человеческие решения в 68% случаев обусловлены эвристиками и когнитивными искажениями, а не оптимизационными расчетами. Это ставит под сомнение адекватность традиционных моделей в экономике управления и требует новых подходов, учитывающих ограниченную рациональность [8].

Актуальность данного исследования определяется тремя ключевыми факторами:

- **Парадигмальный сдвиг** в искусственном интеллекте от чистого рационализма к гибридным системам, сочетающим логический вывод с аффективными состояниями [9]
- **Практическая потребность** HR-менеджмента в инструментах прогнозирования групповой динамики [10]
- **Теоретический вызов** интеграции эмоционального интеллекта в архитектуры многоагентных систем [4]

Предлагаемый подход расширяет классические модели с помощью:

1. Введение динамических профилей ценностей и настроений
2. Имитацию сострадания и эмоционального резонанса

### 3. Моделирование когнитивных процессов через добавление рефлексивных механизмов

Практическая значимость работы подтверждается примерами внедрения схожих бизнес-решений:

- Системы анализа вовлеченности сотрудников с точностью 92% [11]
- Алгоритмы предотвращения конфликтов в виртуальных командах
- Модели адаптивного управления на основе эмоционального климата

Особую актуальность приобретает философский аспект исследования. Реализация эмоциональных моделей в ИИ позволяет эмпирически проверять гипотезы когнитивной науки [12]. Эксперименты с виртуальными агентами:

- Валидируют теории социального обучения
- Количественно оценивают эффективность коммуникативных стратегий
- Выявляют универсальные паттерны группового поведения

Перспективным направлением становится использование эмоциональных агентов для:

- Тестирования организационных структур
- Оптимизации корпоративных коммуникаций
- Прогнозирования последствий управленческих решений

Таким образом, разработка эмоционально-когнитивных моделей открывает новые возможности для создания систем поддержки принятия решений в условиях неопределённости и социальной сложности.

Целью данной работы является создание теоретическое описание модели эмоционального агента, взаимодействующего с другими агентами в рамках игры с командными и личными целями, валидировать модель, а также оценить потенциальный эффект применения данной модели. Объект исследования — модель ограниченно рационального эмоционального агента. Предмет исследования — степень правдоподобности описания моделью реального поведения людей при работе в коллективе. Для достижения поставленных целей в рамках данной работы формулируются следующие задачи:

- разработка и формализация новой модели эмоционального агента, включающей описание архитектуры, взаимодействия модулей, а также алгоритмов моделирования и детализацию реализации ключевых процессов;
- демонстрация работы модели на конкретном примере: подготовка типовой модельной ситуации, проведение теоретического анализа поведения агентов в выбранных кейсах, а также, при возможности, проведение практического моделирования с использованием программной реализации;
- проведение оценки предложенной модели и анализ теоретического эффекта её применения в реальных задачах управления командами, включая выявление преимуществ и возможных ограничений;

- формулировка направлений для дальнейших исследований и планирование будущей работы по совершенствованию модели и расширению её прикладных возможностей.

Практическая применимость исследования подтверждена серией экспериментов в виртуальной среде, имитирующей базовые ситуации в игре с повторяющимися событиями.

Будущая работа открывает новые перспективы для создания систем поддержки принятия решений в HR-менеджменте, способных анализировать не только формальные показатели эффективности, но и скрытые социально-эмоциональные факторы.

В работе мы рассматриваем наиболее интересные, на наш взгляд, модели ИИ-агентов с эмоциональной компонентой. После чего обозначаем область исследований и аспекты, которых, как нам кажется, не хватает в имеющихся моделях. Наконец, мы вносим предложения по покрытию этих аспектов и планируем будущую работу. Основным приложением данных изысканий нам видится моделирование различных стратегий и ситуаций взаимодействий в коллективе с учетом командной цели, личных целей участников и отношений между ними, таких как: выбор наиболее грамотного поведения руководителя, исследование влияния атмосферы в коллективе на продуктивность в команде, моделирование поведенческих ситуаций, конфликтов и способов их решения.

Сама работа построена следующим образом:

- Обосновывается актуальность и применимость работы в современном мире – раздел [1](#)
- Проводится обзор имеющихся подходов и моделей, а также их сравнительный анализ – раздел [2](#)
- Уточняется область исследований и постановка задачи, описываются основные компоненты модели и их функциональность, а также модель в совокупности – раздел [3](#)
- Иллюстрируются принципы работы модели на примере различных игр – раздел [4](#)
- Проводятся эксперименты, валидирующие корректность модели, производится оценка практической и теоретической ценности модели, а также её применимости – раздел [5](#)
- Планируется будущая работа [6](#)

## 2 Подходы к моделированию эмоций

Современные подходы к моделированию эмоций можно условно разделить на две большие группы. Первая ориентирована на распознавание и анализ эмоций человека с помощью машинного обучения, компьютерного зрения, обработки речи и текста [[17](#), [18](#)]. Вторая группа посвящена построению вычислительных моделей, способных воспроизводить эмоциональные процессы внутри искусственных агентов, что позволяет создавать системы с элементами эмоционального интеллекта (Emotion AI, Affective Computing) [[11](#), [19](#)]. Именно такие модели становятся основой для разработки интеллектуальных агентов, которые

способны не только распознавать, но и демонстрировать, а также использовать эмоции для адаптации поведения в различных ситуациях.

В рамках данной главы будут рассмотрены и проанализированы наиболее значимые и широко применяемые модели: EMA (Emotion and Adaptation Model), MAMID (Multi-Agent Modeling of Intelligent Decision-making), WASABI (Weighted Affective State and Behaviour Integration), FLAME (Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions) и Silicon Coopelia. Эти модели представляют различные концептуальные и технические подходы к формализации и реализации эмоциональных процессов в искусственных системах. В завершение будет проведён их сравнительный анализ с точки зрения применимости, гибкости, достоверности моделирования и перспектив развития.

## 2.1 Модель EMA: Emotion and Adaptation

Модель ЕМА (Emotion and Adaptation), разработанная Дж. Грэхем и С. Марселлой, представляет собой одну из наиболее известных и широко применяемых вычислительных реализаций теории когнитивной оценки эмоций [20, 21]. ЕМА исходит из предположения, что эмоции возникают как результат когнитивной интерпретации событий с точки зрения целей, убеждений и ожиданий агента. Ключевым достоинством ЕМА является акцент на процессуальной динамике: модель реализует непрерывный цикл оценки, копинга (реагирования) и переоценки, что позволяет ей воспроизводить как быстрые, так и медленные эмоциональные реакции, характерные для человека [20, 21, 22].

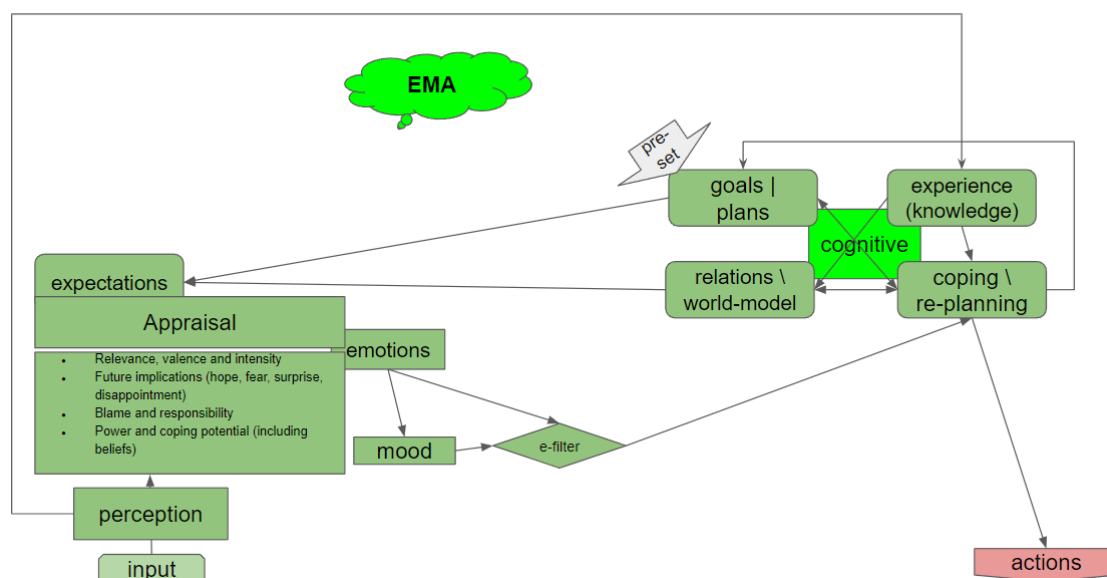


Рис. 1: ЕМА

В основе механизма формирования эмоций лежит набор оценочных критериев (appraisal variables), включающих:

- **Релевантность** (relevance) — определяет, насколько событие требует внимания или действий агента;
- **Желанность** (desirability) — оценивает, способствует ли событие достижению целей агента;



- **Казуальность** (causality) — анализирует, кто ответственен за событие;
- **Возможность** (opportunity) — оценивает вероятность наступления события;
- **Предсказуемость** (predictability) — определяет, насколько событие было ожидаемо;
- **Срочность** (urgency) — отражает важность немедленного реагирования;
- **Контролируемость** (controllability) — может ли агент повлиять на исход;
- **Изменчивость** (self-variation) — возможность изменения результата действиями агентов;
- **Сила воздействия** (power) — необходимый уровень ресурсов для контроля ситуации;
- **Адаптивность** (adaptability) — способность агента справиться с последствиями события.

Эти параметры позволяют гибко и достоверно моделировать широкий спектр эмоциональных реакций, а также учитывать различные точки зрения (перспективы) — как самого агента, так и других участников ситуации [20, 22].

В ЕМА каждая ситуация интерпретируется через множество шаблонов восприятия, ассоциированных с определённым типом эмоции и её интенсивностью. Эти шаблоны конкурируют между собой за определение доминирующей реакции. Итоговое эмоциональное состояние формируется с учётом текущего настроения (mood), которое усредняет эмоциональные оценки по событиям и изменяется относительно медленно [23]. Модель также реализует фильтр внимания, выделяя эмоцию с наивысшей скорректированной интенсивностью как определяющую для поведения агента.

Особое внимание в ЕМА уделяется интеграции эмоций с когнитивными процессами. Эмоции не только влияют на скорость и приоритет обработки информации, но и определяют выбор стратегий поведения: от изменения фокуса внимания и поиска информации до модификации убеждений, желаний и намерений. Кроме того реализованы разнообразные копинг-стратегии, такие как действие, избегание, переосмысление, прокрастинация, принятие и др. [20, 21].

Состояние мира в ЕМА представлено совокупностью событий, каждое из которых связано с переменными, отражающими взгляды, желания и намерения агента. Взгляды (beliefs) строятся на основе убеждений о состоянии мира и уверенности в них, желания (desires) определяют предпочтительные исходы, а намерения (intentions) — планы по достижению целей. Модель поддерживает причинно-следственные интерпретации, позволяющие упорядочивать состояния и отслеживать переходы между ними посредством действий.

ЕМА интегрирует элементы теории принятия решений: каждое действие и состояние оцениваются по полезности (utility) и вероятности наступления. Вероятности бывают двух типов:  $P_I$  — вероятность намерения выполнить действие, и  $P_E$  — вероятность успешного выполнения действия с учётом условий среды. Такой подход обеспечивает тесную связь между эмоциональными реакциями и рациональным выбором, что повышает реалистичность моделирования поведения [20, 23].

ЕМА отличается богатым набором оценочных факторов, что обеспечивает гибкость и достоверность генерации эмоциональных реакций. Модель поддерживает сложные копинг-стратегии, включая изменение внимания, убеждений и даже самообман, а также позволяет учитывать перспективу других агентов, что важно для моделирования коллективного поведения.

Однако, несмотря на широкие возможности, реакция на событие в ЕМА всегда определяется одним доминирующим шаблоном, что ограничивает многомерность эмоциональных состояний. Кроме того, причинно-следственные связи в модели реализованы линейно, что затрудняет учёт комплексных взаимодействий между событиями. Тем не менее, ЕМА считается одной из наиболее валидированных и практически применимых моделей для имитации динамики эмоций в интеллектуальных агентах [20, 21, 23].

## 2.2 Модель WASABI Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity

Модель WASABI (*WASABI Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity*), разработанная К. Бекер-Асано и И. Вахсмутом, представляет собой одну из наиболее продвинутых архитектур для имитации эмоций в виртуальных и робототехнических агентах [24, 25]. Ключевая особенность WASABI — чёткое разделение и взаимодействие первичных (базовых) и вторичных (когнитивных) эмоций, а также динамическое моделирование взаимосвязи эмоций и настроения во времени.

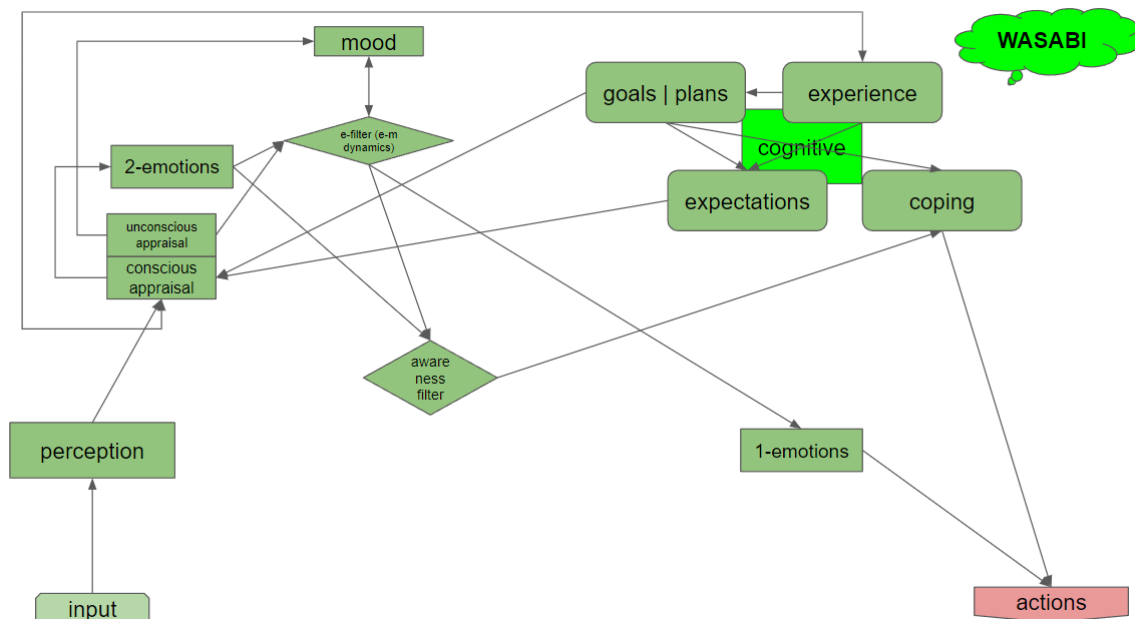


Рис. 2: WASABI

Восприятие событий в WASABI происходит по двум параллельным каналам: бессознательному (реактивному) и сознательному (когнитивному). Бессознательный путь реализует быструю реакцию на стимулы, основанную на внутренней оценке приятности или неприятности, что приводит к формированию первичных эмоций (страх, гнев, радость, удивление и отвращение — по Экману) [24, 25, 26]. Сознательный путь использует когнитивную оценку события на основе модели OCC, что позволяет генерировать вторичные, более

сложные эмоции, связанные с целями, ожиданиями и социальным контекстом.

Важной составляющей WASABI является динамическая система взаимодействия эмоций и настроения. Настроение (mood) агента отражает его общее аффективное состояние и изменяется под воздействием последовательности эмоциональных импульсов, но со временем стремится к нейтральному значению благодаря внутренним механизмам саморегуляции — аналогично демпфированию в физических системах [24, 25, 26]. Положительное настроение усиливает вероятность возникновения положительных эмоций, а отрицательное — негативных, что обеспечивает эффект эмоциональной инерции и контекстуальной согласованности реакций [25, 26].

Эмоциональные импульсы и вторичные эмоции кодируются в трехмерном пространстве PAD (Pleasure-Arousal-Dominance), что позволяет гибко моделировать интенсивность и качество эмоциональных состояний. Важной особенностью является фильтрация эмоций через механизм «осознавания»: только эмоции, прошедшие фильтр, становятся «осознанными» и могут влиять на дальнейшее поведение агента и его решения [24, 25, 26]. Кроме того, WASABI реализует концепцию постфактумной атрибуции (misattribution) — иногда агент не может точно определить причину своей эмоции, что приближает модель к человеческому опыту [26].

Первичные эмоции непосредственно определяют выражение лица виртуального агента и его немедленные реакции, тогда как вторичные эмоции участвуют в более сложных когнитивных процессах и стратегиях поведения. Модель также учитывает вероятность осознания каждой эмоции, что позволяет реализовать широкий спектр поведенческих сценариев, включая автоматические и осознанные реакции [24, 25].

WASABI выделяется среди других моделей благодаря интеграции двухуровневой структуры эмоций и динамической системы их взаимодействия с настроением. Такой подход обеспечивает реалистичную и гибкую эмуляцию эмоциональных состояний, а также позволяет моделировать как мгновенные, так и долговременные аффективные эффекты. Использование PAD-пространства для кодирования эмоций обеспечивает компактность и математическую строгость представления, сохраняя при этом богатство возможных эмоциональных реакций.

Среди недостатков модели отмечают ограниченность поведенческого репертуара: в базовой реализации агент может выражать эмоции и выполнять ограниченный набор действий (например, в карточной игре). Кроме того, несмотря на возможность осознания причин вторичных эмоций, причины первичных эмоций зачастую не отслеживаются, что может затруднять интерпретацию сложных эмоциональных сценариев [26]. Тем не менее, WASABI считается одной из наиболее валидированных и практически применимых архитектур для симуляции эмоций в человекоподобных агентах и роботах.

## 2.3 Multi-Agent Model of Individual Differences

Модель MAMID (Multi-Agent Model of Individual Differences) представляет собой комплексную архитектуру для моделирования эмоций и когнитивных процессов у интеллектуальных агентов с учётом индивидуальных различий, таких как черты характера и когнитивные особенности [27, 28]. Одной из ключевых инноваций MAMID является интеграция динамического моделирования черт личности, которые влияют на параметры эмоциональных реакций, включая

скорость нарастания, интенсивность и затухание эмоций, а также на когнитивные функции агента. Более того, сама эмоциональная динамика способна модифицировать характеристики личности и когнитивные способности, что отражает взаимосвязь между эмоциональным состоянием и психологическими ресурсами.

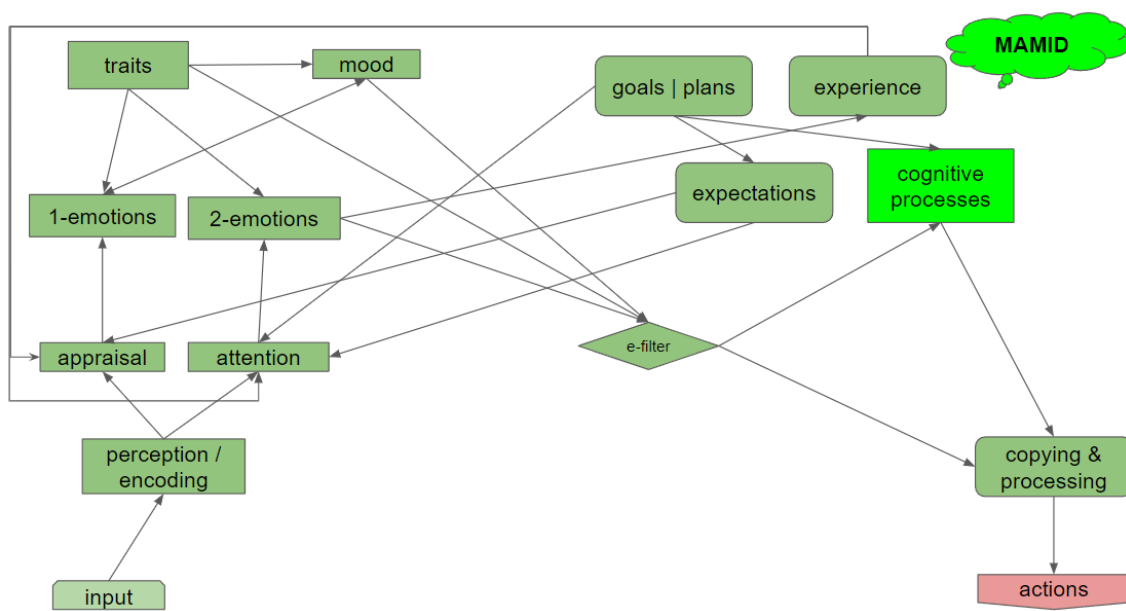


Рис. 3: MAMID

Например, тревога и страх в модели приводят к снижению внимания и рабочей памяти, что реализуется через динамическое уменьшение пропускной способности архитектурных модулей, ответственных за обработку информации. В результате агент воспринимает меньше стимулов, формирует меньше ожиданий и ситуаций, что имитирует реальные когнитивные ограничения при стрессовых состояниях [28, 29].

Процесс восприятия в MAMID делится на два параллельных потока. Первый — автоматическая оценка, которая быстро выявляет положительный или отрицательный эмоциональный окрас события. В этой фазе учитываются такие параметры, как неожиданность (насколько событие отклоняется от текущих ожиданий), новизна (соответствие события индивидуальному опыту), угроза и «приятность» ситуации. Особое значение придаётся чертам характера через фактор предвзятости (bias), отражающему темпераментную склонность агента к позитивным или негативным эмоциональным состояниям. Результатом этого потока является формирование базового аффективного окраса и соответствующего настроения [27].

Второй поток — расширенная когнитивная оценка, которая учитывает внутреннюю мотивацию агента и связь текущей ситуации с его целями. Здесь анализируются уровень успешности в достижении целей, личный опыт и индивидуальные предрасположенности, кодируемые через систему убеждений агента. Этот поток служит основой для генерации вторичных эмоций, более сложных и контекстуально зависимых [28].

Оба потока — автоматический и когнитивный — объединяются в Модуляторе текущего состояния. Этот компонент агрегирует эмоциональный окрас, вторичные эмоции, текущие оценки и эмоции, сгенерированные на предыдущем цикле, обеспечивая плавные переходы между эмоциональными состояниями. В резуль-

тате формируется комплексный параметр аффективного состояния, который влияет на когнитивные процессы агента, включая приоритетность обработки информации и выбор целей [29].

Аффективное состояние оказывает многоуровневое влияние на поведение агента. Во-первых, оно непосредственно участвует в правилах выбора целей и действий, изменяя мотивацию и предпочтения. Во-вторых, эмоциональное состояние регулирует скорость и эффективность работы архитектурных модулей, что отражает влияние эмоций на когнитивные ресурсы. В-третьих, оно влияет на ранжирование ментальных конструкций, определяя, какая информация будет обработана, а какая проигнорирована, что моделирует избирательное внимание и фокусировку [27, 29].

MAMID является одной из немногих моделей, которые комплексно учитывают индивидуальные различия агентов через динамическое моделирование черт характера и когнитивных особенностей, что позволяет создавать разнообразные типы агентов с уникальными эмоциональными и поведенческими профилями. Наличие как сознательных, так и бессознательных эмоциональных потоков расширяет диапазон имитируемых эмоциональных состояний и реакций [28].

Однако смешивание всех эмоций в едином аффективном состоянии снижает вариативность и обоснованность их влияния на принятие решений и поведение. Более того, настроение формируется исключительно на основе бессознательных эмоций, что не полностью соответствует человеческому опыту, где сознательные эмоции также существенно влияют на эмоциональный фон [29].

Несмотря на эти ограничения, MAMID выделяется своей способностью моделировать взаимосвязь между эмоциями, личностными чертами и когнитивными процессами, что делает её перспективной для исследований коллективного поведения и управления персоналом, где учитываются индивидуальные особенности участников [27].

## 2.4 Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions

Модель FLAME (Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions) представляет собой формальную архитектуру для моделирования эмоциональных состояний интеллектуальных агентов, основанную на использовании нечеткой логики и адаптивных механизмов оценки событий [30]. Основная идея FLAME заключается в том, что агент после восприятия события анализирует его влияние на свои цели и оценивает степень желательности этого влияния с учётом важности затронутых целей. Такая комплексная оценка позволяет вычислить меру желательности события, которая служит входным параметром для дальнейшего моделирования изменений эмоционального состояния агента.

Важным этапом в FLAME является генерация эмоций, которые подразделяются на простые и составные. Простые эмоции включают радость, печаль, разочарование, надежду, облегчение, страх, гордость, стыд, упрёк и восхищение. Их возникновение определяется на основе критериев желательности, ожидаемости, соответствия стандартам агента, а также желательности последствий события. Составные эмоции, такие как гнев, благодарность, удовольствие и раскаяние, формируются как комбинация нескольких простых эмоций, что значительно расширяет спектр эмоциональных реакций и приближает модель к реалиям человеческой эмоциональной палитры [30].

Отдельное внимание в модели уделяется процессу изменения настроения и эмоционального фона агента. Настроение рассматривается как динамическое

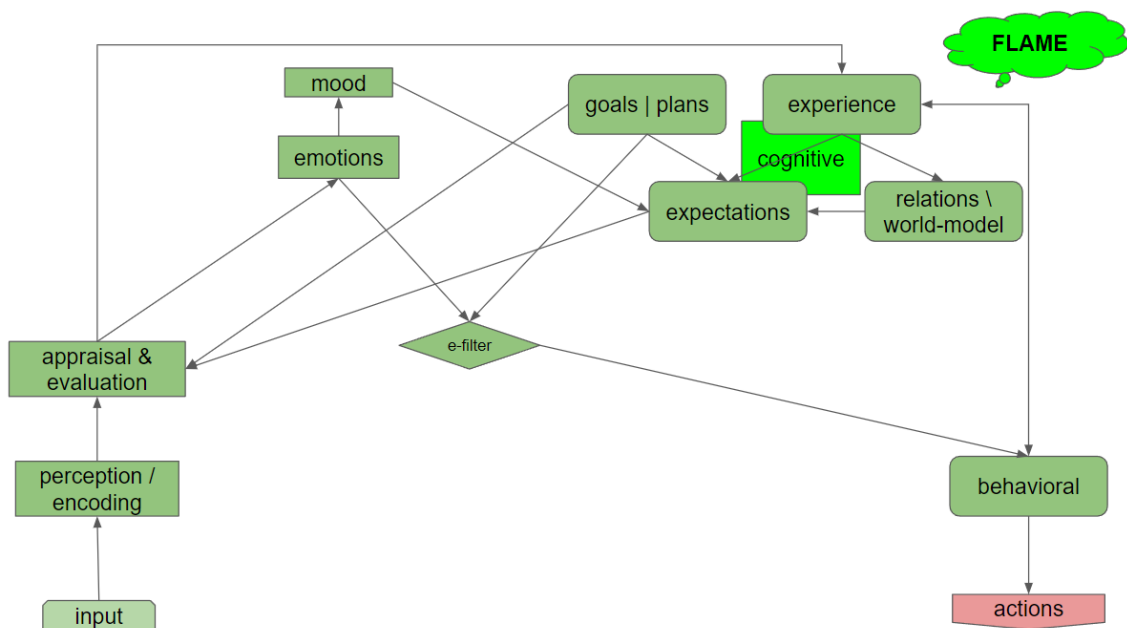


Рис. 4: FLAME

состояние, обладающее положительным или отрицательным окрасом, которое формируется на основе относительной интенсивности положительных и отрицательных эмоций за несколько последних циклов взаимодействия с окружающей средой. Для создания реалистичного эмоционального фона эмоции не исчезают мгновенно, а постепенно затухают, возвращаясь обратно в систему и оказывая влияние на последующие эмоциональные реакции [30].

После генерации полного набора эмоций наступает этап фильтрации, в ходе которого ключевым критерием является интенсивность эмоции и мотивация агента, обусловленная контекстом ситуации и его целями. Это позволяет более сильным эмоциям, например, радости, подавлять менее интенсивные, такие как грусть, обеспечивая тем самым реалистичную динамику эмоционального состояния и поведения [30].

Итоговое поведение агента определяется на основе ожидаемой полезности действий, которая модифицируется с учётом текущих эмоциональных состояний. Эмоции влияют на оценку вероятности успеха и желательности результата, что позволяет модели учитывать эмоциональную окраску при принятии решений и адаптировать поведение агента в соответствии с его эмоциональным состоянием [30].

Среди достоинств FLAME можно выделить наличие развитого эмоционального фона, который значительно расширяет классическое понятие настроения, превращая его из бинарного параметра в многомерную величину с динамическими характеристиками. Это позволяет моделировать более сложные и реалистичные эмоциональные состояния агентов. Кроме того, использование составных эмоций, возникающих из комбинации простых, даёт большую вариативность и глубину эмоционального моделирования, что положительно сказывается на правдоподобию поведения агентов [30].

К недостаткам модели относится размытость фокуса внимания агента, что может приводить к неопределённости в выборе целей и действий. Также набор возможных действий у агента ограничен, что снижает гибкость и адаптивность поведения в сложных ситуациях. Кроме того, в модели недостаточно подробно проработаны механизмы взаимодействия эмоциональных состояний с когнитив-



ными процессами, что является перспективным направлением для дальнейших исследований [30].

Таким образом, FLAME представляет собой сбалансированную и адаптивную модель эмоций, способную обеспечить реалистичное эмоциональное поведение интеллектуальных агентов, что делает её ценным инструментом для разработки систем с элементами эмоционального интеллекта.

## 2.5 Модель Silicon Coopelia

Модель Silicon Coopelia представляет собой уникальную архитектуру, которая интегрирует базовые принципы модели ЕМА с дополнительными модулями, направленными на расширение возможностей эмоциональной регуляции интеллектуального агента. В частности, ключевой особенностью данной модели является внедрение стратегии преодоления нежелательных эмоций посредством переключения внимания, что позволяет агенту адаптивно изменять фокус восприятия в зависимости от эмоционального состояния и контекста [31].

В основе этой стратегии лежит механизм убеждений агента о связи между определёнными стимулами и вызываемыми ими эмоциями. Если агент замечает, что внимание к конкретному стимулу усиливает нежелательную эмоцию, он может сознательно или бессознательно переключить своё внимание на другие стимулы, тем самым снижая интенсивность негативных эмоциональных переживаний. Такой подход имитирует психологические механизмы регуляции эмоций, известные в когнитивной психологии как переключение внимания или когнитивное отвлечение [31, 32].

На каждом цикле обработки информации агент оценивает релевантность доступных стимулов, вычисляя их значимость через абсолютное значение ожидаемой полезности. Это позволяет динамически перераспределять внимание между стимулами, оптимизируя эмоциональное состояние и поведение агента. При этом происходит постоянное обновление убеждений: если внимание к стимулу стабильно вызывает усиление определённой эмоции, уверенность агента в причинно-следственной связи между стимулом и эмоцией возрастает, что влияет на последующие циклы переключения внимания [31].

Кроме того, в модели реализованы механизмы изменения убеждений на основе переосмысления прошлых событий и их причинно-следственных интерпретаций. Например, если агент испытывает чувство вины за неудачу в достижении цели, связанное с собственным действием или бездействием, он может снизить значимость этого действия в своей системе убеждений. Такие изменения косвенно влияют на настроение агента, формируя более гибкую и адаптивную эмоциональную динамику [31].

В целом, Silicon Coopelia можно рассматривать как эволюционное развитие классической модели ЕМА, обогащённое механизмами метакогнитивной регуляции эмоций и динамического управления вниманием. Эта интеграция позволяет создавать интеллектуальных агентов с более сложным и реалистичным эмоциональным поведением, способных эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям и внутренним состояниям [31].

Silicon Coopelia сочетает в себе когнитивно-оценочный подход ЕМА с дополнительными стратегиями эмоциональной регуляции, что делает её одной из наиболее продвинутых моделей для симуляции эмоционального интеллекта в многоагентных системах. Модель учитывает не только оценку событий и формирование эмоций, но и динамическое управление вниманием, позволяя

ющее агенту снижать негативное эмоциональное воздействие и поддерживать эмоциональный баланс.

Особое значение имеет механизм обновления убеждений, который обеспечивает обратную связь между эмоциональными реакциями и когнитивными структурами агента. Это позволяет моделировать процессы самоанализа и адаптации, характерные для человеческого эмоционального опыта. Благодаря этим особенностям Silicon Coopelia подходит для применения в сложных социальных симуляциях, где важна реалистичная имитация эмоциональных и поведенческих реакций [31].

Оценка модели Silicon Coopelia в литературе пока не проводилась в полном объёме, поскольку она представлена преимущественно как концептуальная иллюстрация важных аспектов эмоционального моделирования — смены убеждений и стратегии переключения внимания. Тем не менее, данные особенности делают её перспективной для дальнейших исследований и практических применений в области эмоционального интеллекта и управления коллективами.

## 2.6 Сравнительный анализ моделей эмоциональных интеллектуальных агентов

В рамках данного исследования были рассмотрены пять ключевых моделей эмоциональных интеллектуальных агентов: EMA, WASABI, MAMID, FLAME и Silicon Coopelia. Каждая из них представляет уникальный подход к моделированию эмоций и когнитивных процессов, обладая своими сильными и слабыми сторонами. Проведённый сравнительный анализ позволяет выделить основные характеристики, отличающие эти модели, а также определить перспективные направления для их дальнейшего развития и применения в задачах управления персоналом.

Модель EMA базируется на когнитивной оценке событий с использованием множества факторов, таких как релевантность, желательность, контролируемость и перспектива, что обеспечивает высокую гибкость и достоверность эмоциональных реакций [20]. Она реализует динамическую взаимосвязь эмоций и настроения, а также интегрирует эмоции с когнитивными процессами, влияя на принятие решений и выбор стратегий поведения.

WASABI выделяется двухуровневой структурой эмоций — первичных (базовых) и вторичных (когнитивных), а также наличием механизма осознания эмоций, который фильтрует эмоциональные импульсы перед их интеграцией в поведение агента [24]. Использование PAD-пространства для кодирования эмоциональных состояний позволяет компактно описывать широкий спектр аффективных состояний.

MAMID акцентирует внимание на индивидуальных различиях агентов, моделируя черты характера, которые влияют на динамику эмоциональных реакций и когнитивные функции [27]. Модель сочетает автоматическую и расширенную когнитивную оценки, объединяя их в комплексное аффективное состояние, влияющее на мотивацию и производительность когнитивных модулей.

FLAME применяет нечеткую логику для оценки влияния событий на цели агента и генерации простых и составных эмоций [30]. Особенностью является наличие развитого эмоционального фона, который плавно изменяется во времени и влияет на фильтрацию эмоций и принятие решений.

Silicon Coopelia расширяет EMA за счёт внедрения стратегий эмоциональной регуляции, таких как переключение внимания и динамическое обновление



убеждений [31]. Это позволяет агенту адаптироваться к нежелательным эмоциям и изменять своё поведение с учётом самоанализа и переосмысления прошлого опыта.

ЕМА и MAMID наиболее полно интегрируют эмоции с когнитивными процессами, влияя на скорость обработки информации, выбор целей и стратегий, а также на производительность модулей внимания и памяти [20, 29]. WASABI и FLAME в меньшей степени моделируют когнитивные аспекты, концентрируясь преимущественно на динамике эмоций и их выражении. Silicon Coopelia добавляет метакогнитивные механизмы регуляции эмоций, что расширяет возможности адаптации агентов к изменяющимся условиям.

MAMID выделяется наличием модели черт характера и системы убеждений, что позволяет создавать разнообразные типы агентов с уникальными эмоциональными и когнитивными профилями [27]. ЕМА поддерживает оценку событий с перспективы других агентов, что важно для моделирования межличностного взаимодействия [20]. WASABI и FLAME в основном ориентированы на индивидуальные эмоциональные реакции, а Silicon Coopelia фокусируется на внутренней регуляции эмоций без явного моделирования социальных аспектов.

Стратегии регуляции эмоций наиболее полно представлены в Silicon Coopelia, где реализовано переключение внимания и изменение убеждений для снижения негативных эмоциональных состояний [31]. ЕМА предусматривает копинг-стратегии, такие как изменение внимания, переосмысление и избегание [20]. WASABI реализует фильтрацию эмоций через осознание, а FLAME — через интенсивность и мотивацию, однако оба подхода имеют ограниченный набор регуляторных механизмов.

ЕМА и WASABI получили широкое признание и применяются в различных областях, включая виртуальных персонажей и робототехнику [20, 24]. MAMID перспективна для моделирования коллективного поведения с учётом индивидуальных особенностей [27]. FLAME предлагает адаптивный и математически обоснованный подход, но ограничен в разнообразии действий агента [30]. Silicon Coopelia пока остаётся концептуальной моделью с потенциалом для развития в области эмоциональной регуляции [31].

Анализ показывает, что ни одна из рассмотренных моделей не является универсальной, каждая обладает уникальным сочетанием возможностей и ограничений. ЕМА и MAMID выделяются комплексной интеграцией эмоций и когнитивных процессов, что важно для моделирования сложного поведения и принятия решений. WASABI и FLAME предлагают эффективные способы кодирования эмоциональных состояний и динамики, но имеют ограничения в когнитивной составляющей и разнообразии поведения. Silicon Coopelia демонстрирует перспективный подход к эмоциональной регуляции, который может стать основой для дальнейших исследований.

Для задач управления персоналом, где важны как индивидуальные особенности, так и коллективное взаимодействие, наиболее перспективным представляется комбинирование подходов ЕМА и MAMID с элементами эмоциональной регуляции, реализованной в Silicon Coopelia. Это позволит создавать интеллектуальных агентов с реалистичными эмоциями, адаптивным поведением и способностью к эффективному взаимодействию в коллективе.

Таблица 1: Сравнительная характеристика моделей эмоциональных агентов

Хар-ка	ЕМА	WASABI	MAMID	FLAME	Silicon Coopelia
Модель эмоций	Когнитивная оценка с множеством факторов	Первичные и вторичные эмоции, PAD-пространство	Автоматическая и расширенная оценка с учётом характера	Нечёткая логика, простые и составные эмоции	ЕМА + стратегии регуляции (переключение внимания)
Интеграция с когнитивными процессами	Высокая, влияет на внимание, память, принятие решений	Средняя, акцент на эмоциях и выражении лица	Высокая, влияет на мотивацию и производительность модулей	Средняя, влияние на фильтрацию и выбор действий	Высокая, с метакогнитивной регуляцией
Учет индивидуальных различий	Перспектива других агентов	Нет явного учёта	Моделирование черт характера и убеждений	Нет	Нет
Механизмы регуляции эмоций	Копинг-стратегии (внимание, переосмысление и др.)	Фильтрация через осознание	Ограничены	Фильтрация по интенсивности и мотивации	Переключение внимания, изменение убеждений
Практич. применимость	Широко применяется в виртуальных агентах	Используется в робототехнике и играх	Перспективна для коллективного моделирования	Ограничена набором действий	Концепт-ная, с потенциалом развития

### 3 Модель ограниченно рационального эмоционального агента

Несмотря на значительный прогресс в области моделирования эмоций у интеллектуальных агентов, анализ существующих моделей выявляет ряд существенных ограничений, которые препятствуют созданию по-настоящему эффективных и человекоподобных систем для управления коллективным поведением. В первую очередь, большинство современных подходов сосредоточено на индивидуальных эмоциональных реакциях агентов и их влиянии на принятие решений, однако аспекты межличностных отношений, эмпатии и рефлексии зачастую остаются недостаточно проработанными. Это ограничивает возможности агентов в формировании устойчивых и продуктивных командных взаимодействий, а также снижает эффективность коллективного достижения целей.

Данная работа рассматривается как фундамент для последующего развития моделей, способных более глубоко отражать сложные взаимоотношения между агентами в группе. Существенный вклад, который предполагается внести в рамках этого исследования — создать фундамент, а в будущих работах, заключается во внедрении в эмоциональный механизм дополнительного слоя — механизма рефлексии. Такой подход позволит интеллектуальным агентам не только реагировать на собственные эмоции, но и осмысленно анализировать эмоциональные состояния других участников, а также строить прогнозы на ос-

нове их целей, ценностей и поведения.

В частности, агенты, обладающие механизмом рефлексии, смогут проявлять такие важные для коллективной работы черты, как эмпатия и поддержка. Это включает в себя способность предполагать чужие эмоции на основе анализа целей и ценностей других агентов, строить внутренние модели поведения и эмоционального состояния коллег, предсказывать их реакции, а также демонстрировать сострадание и сопереживание в различных ситуациях. В результате такие агенты будут способны не только более эффективно достигать командных и личных целей, но и поддерживать благоприятный эмоциональный климат в коллективе, что крайне важно для повышения производительности и устойчивости команды.

Исходя из вышеизложенного, основная цель настоящей работы заключается в разработке теоретического описания модели эмоционального агента, способного к эффективному взаимодействию с другими агентами в условиях игры с командными и индивидуальными целями. Важной задачей также является валидация модели и оценка потенциального эффекта внедрения такой модели для повышения эффективности управления коллективами и формирования новых стратегий межличностного взаимодействия.

В отличие от существующих моделей, предлагаемый подход предусматривает следующие ключевые отличия и нововведения:

- наличие у агентов нескольких конкурирующих целей, среди которых отдельное место занимает поддержание и развитие отношений между участниками группы;
- расширение спектра влияния эмоций на принимаемые решения: в частности, возможность генерации чисто эмоциональных решений, моделирование состояний аффекта, а также более сложное и разнообразное переживание настроения, отражающее динамику эмоционального фона и его влияние на поведение.

Данная работа направлена на преодоление существующего исследовательского разрыва в области моделирования эмоций и межличностных отношений у интеллектуальных агентов, а также на создание научной базы для последующего развития адаптивных и эмпатичных систем поддержки принятия решений в коллективных и организационных структурах.

## **3.1 Основные компоненты модели**

### **3.1.1 Агент**

Интеллектуальная сущность, обладающая автономией и способностью к целенаправленному поведению в заданной среде. В контексте данной работы агент представляет собой формальную модель, сочетающую когнитивные и аффективные компоненты для имитации человеко-подобного поведения. Архитектура агента включает:

- Перекодирующий модуль для восприятия окружающей среды
- Эмоциональную систему оценки событий
- Декларативную и процедурную память

- Механизмы принятия решений

Агенты взаимодействуют по принципам многоагентных систем, где коллективное поведение проистекает из индивидуальных стратегий [33].

### 3.1.2 Генерация эмоций

Многоуровневый процесс трансформации внешних стимулов в эмоциональные состояния. Основан на теории когнитивной оценки Lazarus [34] и включает:

1. Нормализацию входных данных через призму ценностной системы
2. Вычисление вектора изменения ценностей  $\Delta V = (\delta v_1, \dots, \delta v_n)$
3. Определение типа эмоции через функцию отображения  $E : \Delta V \rightarrow (e_i, I_i)$

Интенсивность эмоции  $I_i$  вычисляется как:

$$I_i = \alpha \cdot |\delta v_j| \cdot w_j + \beta \cdot C$$

где  $\alpha$  - коэффициент чувствительности,  $w_j$  - вес ценности,  $C$  - контекстуальный фактор.

### 3.1.3 Допустимые, желаемые и критичные значения ценностей

Трехуровневая система оценки состояния ценностей, реализующая принцип гомеостаза. Для каждой ценности  $v_i$  определяются:

- Желаемый диапазон  $[d_{min}, d_{max}]$  - зона комфорта
- Допустимый диапазон  $[a_{min}, a_{max}]$  - зона адаптации
- Критический диапазон  $[c_{min}, c_{max}]$  - зона стресса

Коэффициент важности ценности  $w_i$  динамически корректируется:

$$w'_i = w_i \cdot (1 + \gamma \cdot I_{w_i \in [d_{min}, d_{max}]} + \alpha \cdot I_{w_i \in [a_{min}, a_{max}]} + \beta \cdot I_{w_i \in [c_{min}, c_{max}]})$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  - параметры пластичности системы ценностей.

### 3.1.4 Жадное решение

Импульсивный выбор действий, основанный на принципе получения немедленного вознаграждения. Формально описывается как:

$$a^* = \underset{a \in A}{argmax} \sum_{e \in E_a} I_e \cdot s(e)$$

где  $E_a$  - эмоции, связанные с действием  $a$ ,  $s(e)$  - степень соответствия соответствия эмоции действию. Соответствует Системе 1 в дуальной теории Канемана [7].

### 3.1.5 Источники и направленность эмоций

Механизм атрибуции эмоциональных реакций, реализующий:

- Каузальный анализ событий
- Распределение ответственности между агентами
- Векторную модель влияния (на себя, на других, от других)

Направленность эмоции  $dir(e)$  определяет модификатор социальных отношений:

$$\Delta r_{ij} = \sum_{e \in E} I_e \cdot I_{dir(e)=j} \cdot k_{type(e)}$$

где  $k_{type(e)}$  - коэффициент влияния типа эмоции на отношения, а  $I_{dir(e)=j}$  - индикаторная функция.

### 3.1.6 Критичность изменения

Композитный показатель, объединяющий:

- Абсолютную величину изменения  $\delta_w$
- Эмоциональный отклик  $I_e$
- Текущий уровень ценности  $w(t)$
- Исторический контекст изменений

Вычисляется как:

$$C = \frac{|\delta_w| \cdot I_e}{1 + \exp(-\lambda(w(t) - w_{crit}))}$$

где  $\lambda$  - параметр чувствительности к критическим состояниям.

### 3.1.7 Отношения между агентами

Социальные взаимодействия моделируются через систему взвешенных ориентированных графов  $R = (A, E)$ , где:

- $A$  - множество агентов
- $E \subseteq A \times A \times [-1, 1]$  - взвешенные отношения

Для каждого агента  $a_i$  вводится:

- Вектор личных предпочтений  $p_i \in [-1, 1]^m$
- Матрица социальной перцепции  $P_i \in [-1, 1]^{n \times m}$

Динамика отношений описывается уравнением:

$$r_{ij}(t+1) = \alpha r_{ij}(t) + \beta \sum_{k=1}^m p_{ik} \cdot P_j^{(k)}(t) + \gamma \sum_{e \in E} I_e(t) \cdot \delta_{dir(e)=j}$$

где:

- $\alpha$  - коэффициент инерции отношений
- $\beta$  - вес когнитивной оценки
- $\gamma$  - вес эмоционального влияния

### 3.1.8 Оценка событий

Многофакторный анализ воздействий, включающий:

- Прогнозирование цепочек последствий
- Вероятностную оценку исходов
- Эмоциональную оценку через призму ценностей
- Социальный контекст взаимодействий

Формализуется через функцию полезности:

$$U(a) = \sum_{c \in C_a} P(c|a) \cdot \sum_{v \in V} w_v \cdot \Delta_v(c) \cdot f_{crit}(v)$$

### 3.1.9 Переоценка ценностей

Адаптивный механизм, реализующий принцип эмоционального научения. Для ценности  $v_i$ :

$$w_i^{(t+1)} = w_i^{(t)} + \eta \cdot \sum_{\tau=0}^t \gamma^{t-\tau} I_e(\tau) \cdot \text{sign}(\Delta v_i(\tau))$$

где  $\eta$  - скорость обучения,  $\gamma$  - фактор дисконтирования опыта.

### 3.1.10 Последствия и вероятность

Совместное распределение исходов действий описывается как:

$$P(c|a) = P_{base}(c|a) \cdot (1 + \alpha \cdot E_{bg})$$

где  $E_{bg}$  - текущий эмоциональный фон,  $\alpha$  - коэффициент эмоционального искажения.

### 3.1.11 Рациональное решение

Оптимизационный выбор, максимизирующий ожидаемую полезность:

$$a^* = \underset{a \in A}{\operatorname{argmax}} \sum_{c \in C_a} P(c|a) \cdot U(c)$$

где  $U(c)$  вычисляется через взвешенную сумму изменений ценностей с учётом их критичности.

### 3.1.12 Система-1

Быстрый эмоционально-интуитивный процесс принятия решений. Характеристики:

- Быстрое время реакции
- Параллельная обработка
- Эвристики и когнитивные искажения
- Автоматические поведенческие паттерны

Реализует принцип "пожарной реакции" в критических ситуациях.

### 3.1.13 Система-2

Медленный аналитический процесс с сознательным контролем. Особенности:

- Долгое время реакции
- Последовательная обработка
- Ресурсоёмкие вычисления
- Коррекция решений Системы-1

Обеспечивает адаптацию к сложным и новым ситуациям.

### 3.1.14 Состояние аффекта

Экстремальная эмоциональная реакция, характеризующаяся:

- Подавлением префронтальной коры
- Доминированием лимбической системы
- Вегетативными проявлениями
- Нарушением рационального мышления

В модели реализуется через временное отключение Системы-2.

### 3.1.15 Фильтрация эмоций

Многостадийный процесс селекции эмоциональных сигналов:

1. Фильтр восприятия (интенсивность  $> I_{min}(E_{bg})$ )
2. Когнитивная релевантность
3. Контекстуальная уместность
4. Социальная приемлемость

Реализует принцип "эмоционального фокусирования".

### 3.1.16 Фокус внимания

Динамический процесс управления когнитивными ресурсами. Фокусная эмоция – самая интенсивная одна или несколько в некоторой окрестности максимума текущих интенсивностей. Остальные эмоции слегка притупляются (притупление зависит от их противоречивости с фокусной) и ещё раз фильтруются по пороговому значению. Сознательно агент может менять фокусную эмоцию как один из вариантов действий.

### 3.1.17 Характер и ценности

Персонализированные параметры агента, включающие:

- Эмоциональную реактивность  $\alpha$
- Скорость затухания эмоций  $\gamma$
- Пороги деактивации Системы-2
- Иерархию ценностей  $W = \{w_i\}$

Формируют уникальный "психологический профиль" агента.

Характер агента представляет собой комплекс параметров, определяющих индивидуальные особенности эмоционального реагирования и адаптации к внешним воздействиям. В рамках предложенной модели характер формализуется через набор динамических характеристик:

- Пиковая интенсивность эмоций  $I_{max} \in [0, 1]$
- Временной коэффициент затухания  $\tau \in \mathbb{R}^+$
- Функция чувствительности  $S : \Delta V \rightarrow [0, 1]$
- Пороги активации эмоций, зависящие от эмоционального фона  $\theta_e(E_{bg}) \in \mathbb{R}^+$

Эти параметры позволяют моделировать широкий спектр психологических типов - от флегматичного агента с медленным нарастанием и быстрым затуханием эмоций до холеричного, демонстрирующего резкие эмоциональные всплески. Как показано на Рис. 5, интенсивность эмоциональной реакции  $\frac{dI}{dt}$  зависит как от величины внешнего воздействия  $\Delta W$ , так и от индивидуальной функции чувствительности  $S(\Delta V)$ :

$$\frac{dI}{dt} = \alpha \cdot S(\Delta V) - \beta \cdot I(t)$$

где  $\alpha$  - коэффициент возбудимости,  $\beta = 1/\tau$  - коэффициент затухания.

Динамика эмоциональных состояний (Рис. 6) описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = k_a \cdot \Delta V(t) - k_d \cdot I(t) \\ \Delta V(t) = \sum v_i \cdot \delta v_i(t) \end{cases}$$

где  $k_a$  - коэффициент активации,  $k_d$  - коэффициент деактивации,  $w_i$  - веса ценностей.

Для каждой эмоции  $e_i \in E$  задается параметризованная функция интенсивности:

$$I_e(t) = A_e \cdot \tanh(B_e \cdot \Delta V) \cdot e^{-C_e t}$$

где:

- $A_e \in [0, 1]$  - амплитуда эмоционального отклика
- $B_e \in \mathbb{R}^+$  - коэффициент чувствительности к воздействиям



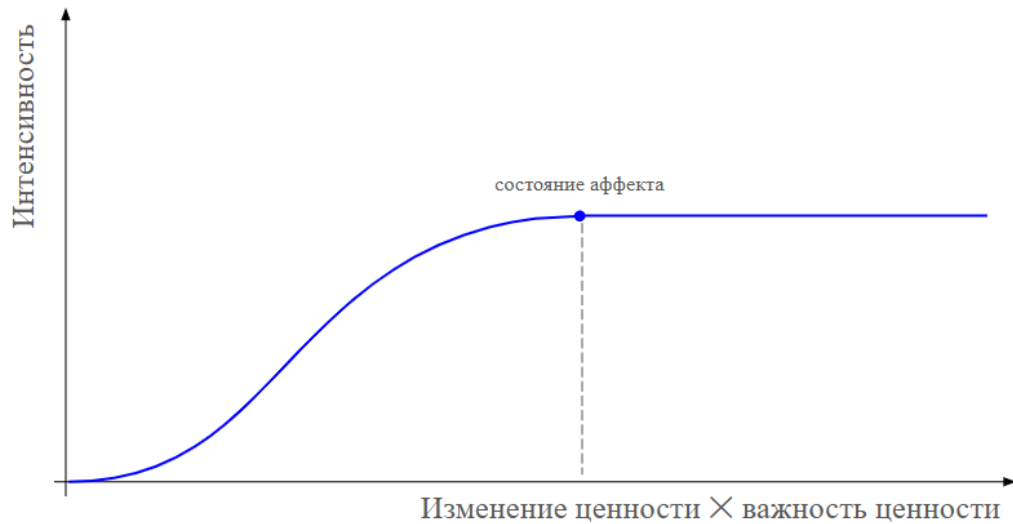


Рис. 5: Зависимость интенсивности эмоции от характера агента и величины внешнего воздействия.

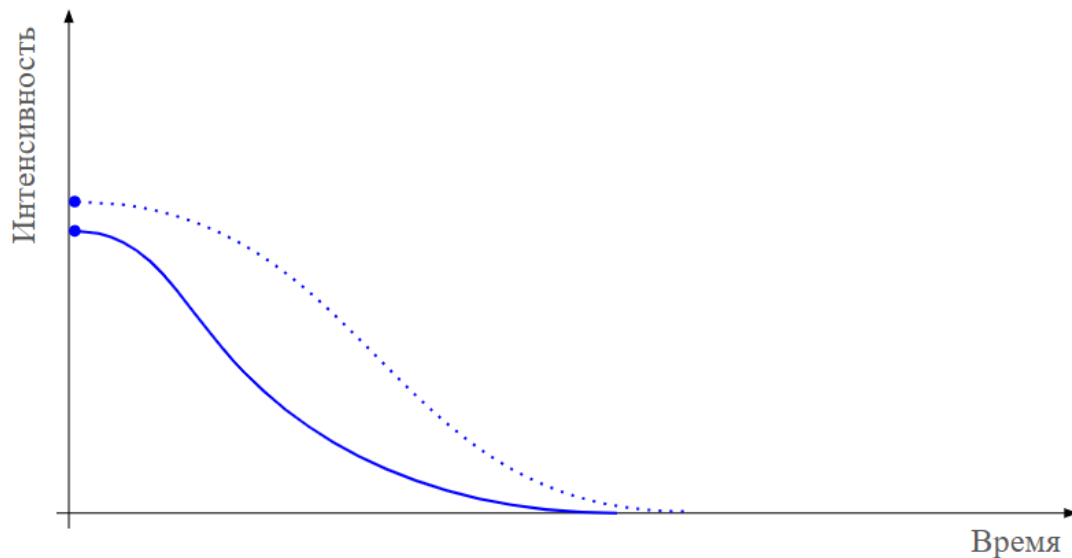


Рис. 6: Динамика эмоциональных состояний для разных типов характера: А - быстрая активация/медленное затухание, В - равномерная динамика, С - медленная активация/быстрое затухание.

- $C_e \in \mathbb{R}^+$  - скорость затухания

Эволюция характера в процессе игры моделируется через адаптацию параметров  $(A_e, B_e, C_e)$  на основе накопленного эмоционального опыта. Это позволяет агентам развивать эмоциональную устойчивость или, наоборот, повышать чувствительность к определенным типам воздействий.

В свою очередь система ценностей агента строится как иерархическая структура, сочетающая универсальные биологические потребности и приобретённые социальные установки. Формально она описывается кортежем:

$$V = \langle v_1, \dots, v_n \rangle, \quad v_i = (c_i, d_i, w_i, s_i)$$

где:

- $c_i \in [0, 100]$  - текущее состояние ценности
- $d_i = [a_i, b_i]$  - допустимый диапазон (а - критический порог, b - желаемый порог)
- $w_i \in [0, 1]$  - важность ценности
- $s_i : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$  - функция стрессового отклика



Рис. 7: Трехуровневая модель оценки состояния ценностей. Красная зона (0-A) активирует экстренные реакции, жёлтая (A-B) - адаптационные стратегии, зелёная (B-100) - поддерживающие действия.

Динамика важности ценностей подчиняется принципу гомеостатической регуляции:

$$\frac{dw_i}{dt} = \gamma \cdot (s_i(c_i) - w_i) + \eta \cdot \sum_{e \in E} I_e(t) \cdot \delta_{e \rightarrow v_i}$$

где  $\gamma$  - скорость саморегуляции,  $\eta$  - коэффициент эмоционального обучения.

Интеграция с игровой средой осуществляется через функцию отображения состояний:

$$f : S \rightarrow [0, 100]^n, \quad f(s) = (c_1(s), \dots, c_n(s))$$

где  $S$  - пространство состояний среды. Для каждой ценности реализован механизм нормализации:

$$c'_i = \frac{c_i - \mu_i}{\sigma_i} \cdot 10 + 50$$

с учётом исторических статистических параметров  $\mu_i, \sigma_i$ .

### 3.1.18 Эмоциональный комфорт

Гомеостатический показатель, который служит драйвером для жадных решений и механизмов избегания.

### 3.1.19 Эмоциональный фон

Динамическое векторное представление:

$$E_{bg}(t) = \sum_{\tau=0}^t \gamma^{t-\tau} \sum_{e \in E(\tau)} I_e(\tau) \cdot v_e$$

где  $v_e$  - базовый вектор эмоции в пространстве PAD. Влияет на:

- Оценку вероятностей
- Социальные взаимодействия
- Когнитивные искажения

## 3.2 Сценарий работы модели

Теперь опишем последовательно сценарий работы модели при возникновении события с его последующей обработкой.

### 3.2.1 Определения перед событием

На основе целей и ценностей агент определяет свои планы: ближайшие действия и их предполагаемые последствия (изменения дистанции до личного и командного результата, возможные изменения в комфорте и отношениях)

На основе планов и взаимоотношений агент определяет свои ожидания: ожидаемые результаты от действий, ожидаемое поведение агентов на основе их целей и предполагаемых отношений.

### 3.2.2 Формирование ожиданий и планов когнитивной компонентой

Планы отражают долгосрочную стратегию агента и зависят от условий среды. Они вырабатываются когнитивной компонентой на основе целей.

Ожидания складываются из прогнозируемых последствий своего хода, а также ходов других агентов. Также ожидания могут складываться на основе информации, полученной от других агентов.

Ожидаемые ходы переводятся в ожидаемые изменения ценностей, а также список ответственных за изменения.

Когнитивная компонента реализует гибридный подход, сочетающий:

- Символическое планирование с использованием HTN (Hierarchical Task Networks)
- Нейросетевой прогноз последствий действий
- Баевсовское обновление ожиданий

Для каждого действия  $a \in A$  вычисляется ожидаемая полезность:

$$EU(a) = \sum_{s' \in S} P(s'|a) \left[ U(s') + \lambda \sum_{a'} Q(s', a') \right]$$

где  $\lambda$  - коэффициент дальновидности,  $Q$  - функция качества состояний. Архитектура системы планирования представлена на Рис. 8

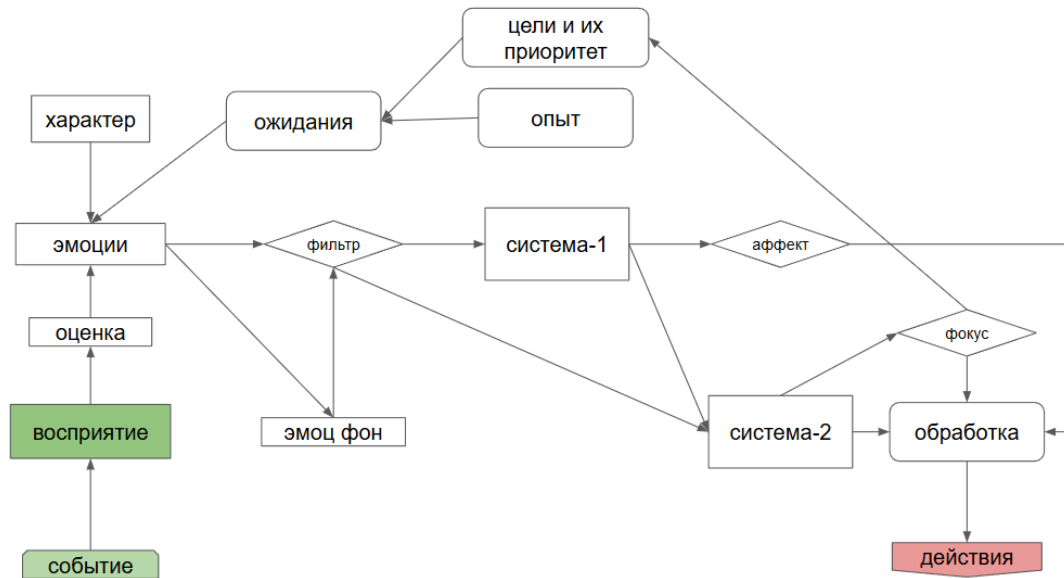


Рис. 8: Архитектура системы планирования, сочетающая символические и нейросетевые компоненты.

### 3.2.3 Событие

В рамках модели под событием понимается дискретный временной шаг в много-агентной системе, соответствующий ходу в командной игре с личными целями. Каждое событие формализуется как кортеж:

$$E = \langle t, A, S, \Delta V, R \rangle$$

где:

- $t \in \mathbb{N}$  - временная метка
- $A \subseteq Agents$  - множество вовлечённых агентов
- $S \in States$  - новое состояние системы
- $\Delta V : Agents \rightarrow \mathbb{R}^n$  - функция изменения ценностей
- $R : Agents \rightarrow 2^{Agents}$  - распределение ответственности

Событие кодируется в воспринимаемый агентом набор признаков/аспектов:

- для каждой желаемой цели вычисляется метрика близости между новым состоянием и желаемым, а также изменение этих метрик
- определяется ответственный за событие
- событие сверяется с планами и с ожиданиями агента на предмет близости
- определяется степень контроля ситуации (объективное ощущение корректируется поправкой на эмоциональный фон агента)

Общая схема многоуровневой обработки событий агентом описана на Рис. 9

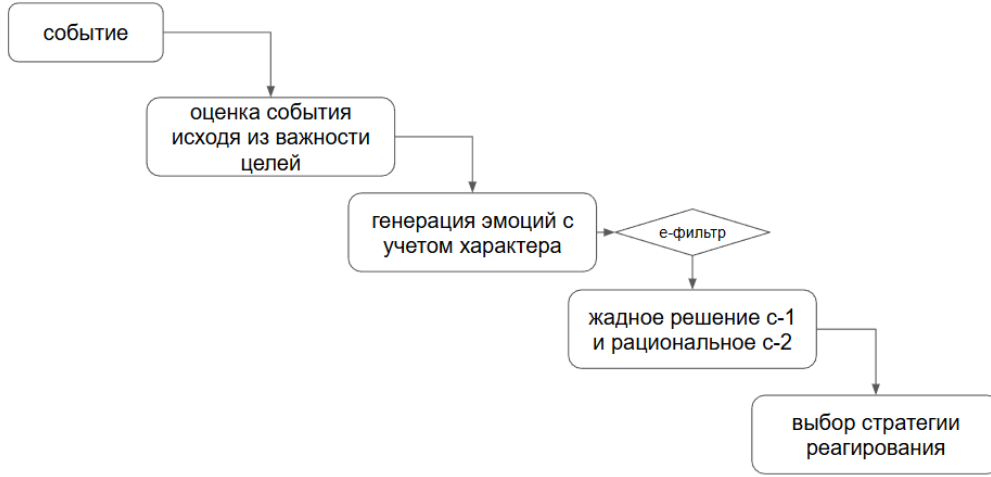


Рис. 9: Многоуровневая обработка событий агентом

### 3.2.4 Эмоции

В основе эмоциональной модели лежит расширенная версия OCC (Ortony-Clore-Collins) теории [35], адаптированная для многоагентных систем. Модель включает 8 базовых эмоций с механизмом композиции сложных эмоциональных состояний, см. Рис. 10

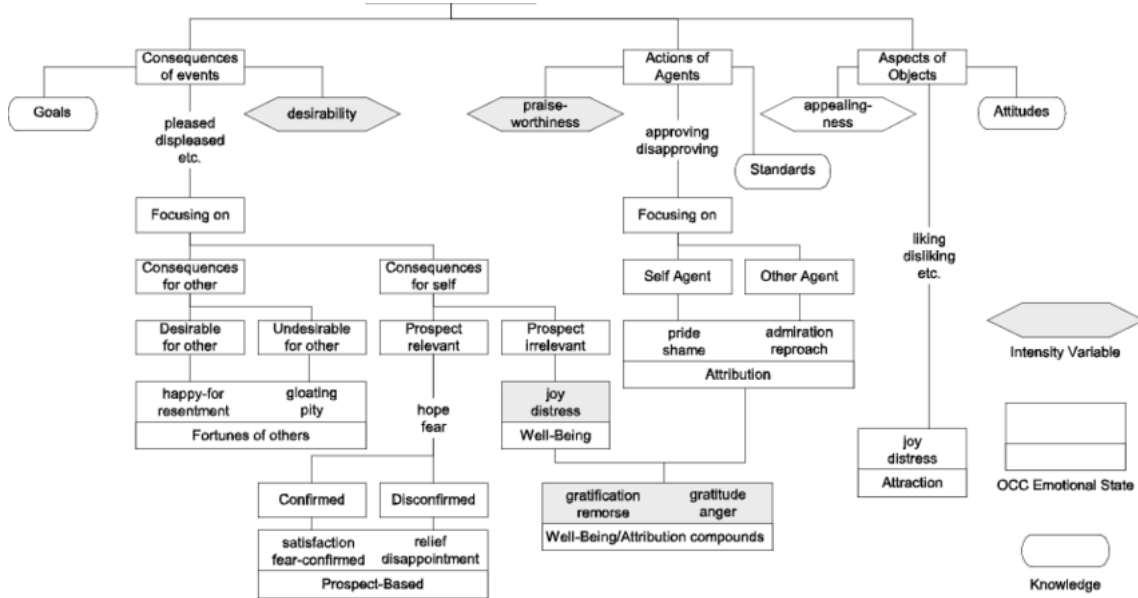


Рис. 10: OCC-модель

Для каждой эмоции  $e_i \in E$  определена функция активации:

$$I_{e_i} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot f_j(\Delta v_j) \cdot \delta_{resp}(a_j)$$

где:

- $w_j$  - вес ценности  $v_j$
- $f_j$  - функция чувствительности к изменениям

- $\delta_{resp}$  - индикатор ответственности агента

Дополнительно к эмоциям будем рассматривать ответственности агентов за ситуацию. Важно отметить, что агент может и не выбирать ответственного за ситуацию, перекладывая все на «судьбу» .

Возможные ситуации возникновения эмоций:

- страх – угроза ухудшения ситуации. Возникает при оценке возможных вариантов развития событий
- хорошие ожидания по изменению подтвердились ИЛИ плохие не подтвердились – радость, направленная на агента, ответственного за событие
- плохие ожидания подтвердились ИЛИ хорошие не подтвердились – гнев на агента (если есть ответственный за событие) ИЛИ грусть (иначе)
- произошло неожиданно плохое - удивление И гнев на агента (если есть ответственный за событие) ИЛИ грусть (иначе)
- произошло неожиданно хорошее - удивление И радость, направленная на агента, ответственного за событие
- произошло улучшение благодаря другому агенту – радость, направленная на агента И улучшение отношения с ним
- произошло ухудшение из-за другого агента – гнев на агента И ухудшение отношения с ним
- произошло ухудшение для агента, с которым плохие отношения – радость И отвращение
- произошло ухудшение для агента, с которым хорошие отношения – грусть
- произошло улучшение для агента, с которым плохие отношения – грусть И отвращение
- произошло ухудшение для агента, с которым хорошие отношения – радость

Примеры эмоциональных реакций:

- **Страх:** Активируется при превышении порога риска:

$$\mathbb{E}[\Delta v_i] < \theta_{risk} \Rightarrow I_{fear} = \beta \cdot |\mathbb{E}[\Delta v_i]|$$

- **Радость/Грусть:** Определяются знаком отклонения от ожиданий:

$$I_{emo} = \gamma \cdot (\Delta v_{real} - \Delta v_{expected})$$

- **Удивление:** Вычисляется через энтропию распределения исходов:

$$I_{surprise} = \alpha \cdot H(P)$$

### 3.2.5 Наивное сострадание

Модель включает механизм эмоционального резонанса, реализующий базовый уровень эмпатии. Для агента  $a_i$  интенсивность зеркальной эмоции определяется как:

$$I_i^{emp} = I_j^{src} \cdot \eta \cdot \frac{r_{ij}}{r_{max}}$$

где:

- $\eta \in [0, 1]$  - коэффициент эмпатии
- $r_{ij} \in [-1, 1]$  - отношение  $a_i$  к  $a_j$

### 3.2.6 Оценка событий и возникновение эмоций

Пространство состояний агента формализуется как метрическое пространство  $(V, d)$ , где:

$$d(v, v') = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \cdot (v_i - v'_i)^2}$$

Эмоциональный отклик на событие определяется для каждой ценности  $v_i$  через трёхмерный параметрический тензор:

$$T_{emo} = \langle \Delta d_i, p_i^{zone}, t_{decay} \rangle$$

где:

- $\Delta d_i = d_i^{new} - d_i^{old}$
- $p_i^{zone} \in \{critical, acceptable, desired\}$
- $t_{decay}$  - время затухания эмоции

Динамика интенсивности эмоции описывается уравнением:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^m \alpha_k \cdot \delta(t - t_k)$$

где  $\alpha_k$  - вклад оценки изменения ценностей в эмоциональное состояние.

### 3.2.7 Фильтрация и система-1

Процесс фильтрации реализует двухуровневую архитектуру:

1. Первичная фильтрация:

$$I'_i = \begin{cases} I_i & \text{если } I_i > \theta_{low} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

2. Аффективная фильтрация:

$$I''_i = \begin{cases} I'_i \cdot (1 + \beta \cdot E_{bg}) & \text{если } I'_i > \theta_{high} \\ I'_i & \text{иначе} \end{cases}$$

Жадное решение системы-1 вычисляется как:

$$a^* = \operatorname{argmax}_{a \in A} \sum_{e \in E_a} I''_e \cdot \operatorname{sign}(e)$$

### 3.2.8 Фокус

Фокусная эмоция – самая интенсивная одна или несколько в некоторой окрестности максимума текущих интенсивностей. Остальные эмоции слегка притупляются (притупление зависит от их противоречивости с фокусной) и ещё раз фильтруются по пороговому значению. Сознательно агент может менять фокусную эмоцию как один из вариантов действий.

Механизм фокусировки реализует конкурентную модель внимания:

$$F_i = \frac{\exp(\gamma \cdot I_i)}{\sum_j \exp(\gamma \cdot I_j)}$$

Контрастное подавление второстепенных эмоций:

$$I'_i = I_i \cdot (1 - \alpha \cdot \sum_{j \neq i} |F_j - F_i|)$$

### 3.2.9 Эмоциональный фон

Динамика эмоционального фона описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dE_{bg}}{dt} = -\lambda E_{bg} + \sum_{i=1}^n w_i \cdot I_i(t)$$

Влияние фона на принятие решений моделируется через модификатор полезности:

$$U'(a) = U(a) \cdot (1 + \eta \cdot \langle E_{bg}, v_a \rangle)$$

### 3.2.10 Принятие решений Системой-2

Процесс принятия решений в Системе-2 представляет собой многоэтапную оптимизационную задачу, сочетающую элементы теории ожидаемой полезности [36] и эмоционально-когнитивного синтеза. Формально он может быть описан следующим алгоритмом:

1. **Генерация альтернатив:** На основе текущего состояния среды  $s_t \in S$  и доступных действий  $A$  формируется множество возможных решений  $D \subseteq A \times 2^S$  с учётом:

$$P(d|s_t) = \prod_{a \in d} P(a|s_t) \cdot \prod_{c \in C_d} P(c|a)$$

где  $C_d$  - множество последствий действия  $a$ .

2. **Оценка полезности:** Для каждого решения  $d_i$  вычисляется интегральный показатель:

$$U(d_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \mathbb{E}[\Delta v_j] \cdot (1 + \alpha \cdot I_{e_j}) \cdot f_{bg}(E_{bg}, e_j)$$

где:

- $w_j$  - адаптивный вес ценности  $v_j$
- $\mathbb{E}[\Delta v_j]$  - ожидаемое изменение ценности



- $I_{e_j}$  - интенсивность связанной эмоции
- $f_{bg}$  - функция влияния эмоционального фона:

$$f_{bg}(E_{bg}, e_j) = 1 + \beta \cdot \frac{E_{bg}^{(j)}}{E_{max}^{(j)}}$$

3. **Сравнительный анализ:** Рациональное решение сопоставляется с эмоциональным ("жадным") через функцию предпочтения:

$$P(d_{rational}) = \frac{U(d_{rational})}{U(d_{rational}) + U(d_{emotional}) + \epsilon}$$

где  $\epsilon$  - параметр стохастичности выбора.

Эмоциональные состояния модифицируют параметры оценки через три основных механизма:

- **Когнитивные искажения:** Эмоциональный фон  $E_{bg}$  влияет на восприятие вероятностей:

$$P'(c|a) = P(c|a) \cdot (1 + \gamma \cdot \langle E_{bg}, v_c \rangle)$$

где  $v_c$  - вектор эмоциональной окраски последствия  $c$ .

- **Ценностные трансформации:** Интенсивные эмоции временно изменяют веса ценностей:

$$w'_j(t) = w_j(t) \cdot (1 + \eta \cdot I_{e_j}(t))$$

- **Поведенческие паттерны:** Специфические эмоции активируют типовые реакции:

- Гнев:  $U_{rel}(a) \leftarrow U(a) + \lambda \cdot I_{anger}$
- Страх:  $P_{neg}(c) \leftarrow P(c) \cdot (1 + \mu \cdot I_{fear})$
- Радость:  $w_{social} \leftarrow w_{social} \cdot (1 + \nu \cdot I_{joy})$

### 3.2.11 Отношения между агентами

Глобальные отношения агента к остальным складываются на основе ценностей и накопленного опыта взаимодействия (эмоции потихоньку смещают отношение в свою сторону, как бы формируя настроение по отношению к агенту): положительные эмоции (радость) смещают отношение в плюс пропорционально интенсивности, а отрицательные (гнев и отвращение) - в минус.

Отношение других агентов к себе предполагается на основе оценки их действий и их последствий. Таким образом, отношение к другому агенту равно сумме интенсивностей эмоций к агенту с соответствующим знаком. Предполагаемое отношение другого агента к себе равно сумме высказанных эмоций агента к себе ПЛЮС сумма собственных эмоций по отношению к агенту.

Из этого можно сделать забавное наблюдение: если я отношусь к кому-то плохо, то считаю, что и он ко мне тоже

### **3.2.12 Переоценка ценностей**

Система-2 может производить переоценку важности ценностей: каждая осознанная эмоция суммируется в эмоциональный опыт, связанный с ценностью. Если эмоциональный опыт положительный и превышает определенный порог, то это увеличивает вес ценности и она перемещается по важности вверх (это отсылает нас к тому, что базовая и основная цель любого существа - быть счастливым и меньше страдать).

## 4 Примеры работы модели в различных игровых сценариях

### 4.1 Игра о добыче ресурсов как многоагентная система

Рассматриваемая игра представляет собой формальную модель многоагентного взаимодействия в ограниченной среде с неполной информацией. Система может быть описана кортежем:

$$G = \langle A, S, R, T, O, U \rangle$$

где:

- $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  - множество агентов
- $S \subseteq \mathbb{Z}^2 \times \mathbb{N}^k$  - пространство состояний (координаты + ресурсы)
- $R = \{r_1, \dots, r_m\}$  - типы ресурсов
- $T : S \times A \rightarrow S$  - функция перехода состояний
- $O : S \rightarrow \Omega$  - функция наблюдения
- $U : S \times A \rightarrow \mathbb{R}$  - функция полезности

Игровое поле моделируется как клеточный автомат размером  $N \times N$  с метрикой Манхэттена. Каждая клетка  $c_{ij}$  характеризуется:

$$c_{ij} = \langle q_{ij}, \rho_{ij}, \tau_{ij} \rangle$$

где:

- $q_{ij} \in \{0, 1\}$  - наличие препятствия
- $\rho_{ij} \in \mathbb{N}^m$  - вектор ресурсов
- $\tau_{ij} \in \{0, 1\}$  - наличие ловушки

Агент  $a_k$  описывается кортежем:

$$a_k = \langle p_k \in S, b_k \in \mathbb{N}^m, g_k^p, g_k^t \rangle$$

где  $g_k^p$  - личная цель,  $g_k^t$  - командная цель.

Процесс принятия решений агентом формализуется через теорию игр с неполной информацией. Для каждого действия  $a \in A$  вычисляется ожидаемая полезность:

$$EU(a) = \sum_{s' \in S} P(s'|a) \cdot [U_{self}(s') + \lambda U_{team}(s')]$$

где  $\lambda \in [0, 1]$  - коэффициент коллективизма.

Пример игрового поля можно увидеть на Рис. 11

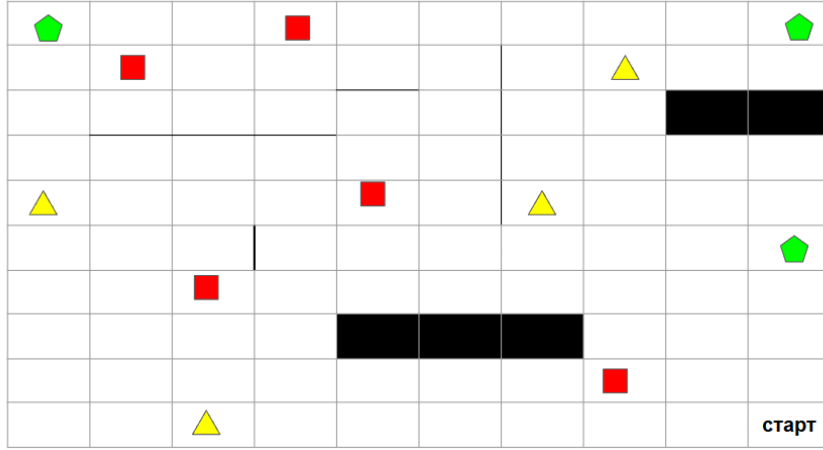


Рис. 11: Пример игрового поля 10x10 с различными типами ресурсов (обозначены цветами) и ловушками (чёрные клетки).

## 4.2 Экспериментальные модификации

Для исследования устойчивости модели реализованы вариации:

### 1. Ограниченная вместимость:

$$b_k^{max} = \lfloor \frac{k}{n} \cdot B_{total} \rfloor$$

где  $B_{total}$  - общий ресурс системы

### 2. Полная наблюдаемость:

$$O(s) = s, \quad \forall s \in S$$

### 3. Динамические цели:

$$g_k(t+1) = f(g_k(t), \sum_{i=1}^n \rho_i(t))$$

## 4.3 Эмоциональная динамика в игровых сценариях

### 4.3.1 Формализация эмоциональных триггеров

Для каждого агента  $a_k$  эмоциональное состояние  $E_k$  определяется как:

$$E_k = \langle \xi_k, \phi_k, \psi_k \rangle$$

где:

- $\xi_k$  - вектор базовых эмоций (гнев, страх, радость и т.д.)
- $\phi_k \in [0, 1]$  - уровень тревожности
- $\psi_k \in [0, 1]$  - уровень доверия к команде

Изменение эмоций подчиняется уравнению:

$$\Delta \xi_k^{(t)} = \alpha \cdot \nabla U_k^{(t)} + \beta \cdot \sum_{j \neq k} \xi_j^{(t-1)} \cdot r_{jk}$$

### 4.3.2 Пример 1: Конфликт целей

Рассмотрим ситуацию, когда агент  $a_1$  обнаруживает ресурсы  $r_1$  (личная цель) и  $r_2$  (командная цель). Ожидаемая полезность действий:

$$\begin{aligned} EU_{self} &= 3 \cdot P_{collect}(r_1) - 2 \cdot \mathbb{E}[\Delta r_{relations}] \\ EU_{team} &= 1 \cdot P_{collect}(r_2) - 5 \cdot \mathbb{E}[\Delta r_{relations}] \end{aligned}$$

При наличии положительного эмоционального фона ( $\phi_k > 0.7$ ) коэффициент коллективизма  $\lambda$  увеличивается на 25%, смещая выбор в пользу командной цели.

### 4.3.3 Пример 2: Эмоциональный резонанс

Если агент  $a_2$  выражает гнев с интенсивностью  $I_{anger}$ , это влияет на соседних агентов через уравнение:

$$\Delta \xi_j^{(t)} = \gamma \cdot I_{anger} \cdot \frac{r_{j2}}{r_{max}} \cdot \left(1 - \frac{d_{j2}}{d_{max}}\right)$$

где  $d_{j2}$  - расстояние между агентами.

## 4.4 Анализ стратегий поведения

### 4.4.1 Оптимизация индивидуальной полезности

При доминировании личных целей ( $\lambda < 0.3$ ) агенты демонстрируют поведение, описываемое уравнением:

$$\pi^* = \underset{\pi \in \Pi}{\operatorname{argmax}} \sum_{t=0}^T \gamma^t R_{self}(s_t, \pi(s_t))$$

где  $\gamma$  - коэффициент дисконтирования.

### 4.4.2 Коллективная рациональность

Для командных стратегий ( $\lambda > 0.7$ ) оптимальная политика определяется:

$$\pi^{**} = \underset{\pi \in \Pi}{\operatorname{argmax}} \sum_{t=0}^T \gamma^t \left( R_{team}(s_t) + \mu \cdot \sum_{j \neq k} r_{jk} \right)$$

## 5 Эксперименты и результаты

В рамках первого этапа работы были проведены эксперименты на языке программирования Python. Поскольку первый этап был призван проверить работоспособность модели, то агенты создавались в упрощенном виде.

Проводится исследование модели на примере повторяющейся игры по распределению ограниченных ресурсов в командном проекте. В каждом цикле агент принимает решение о распределении ресурсов между своим проектом, проектом партнера и общим проектом.

Эмоции и настроение агента влияют на вероятность альтруистического или эгоистического выбора. В результате алгоритмического моделирования нам удалось получить различное поведение агентов в зависимости от их ценностей.

Отношения агентов друг к другу менялись соответственно их действиям – при альтруистическом поведении агенты были настроены дружелюбно и были более удовлетворены результатами игры.

### 5.1 Описание модели в коде

Для создания модели были описаны классы ценностей, эмоционального фона и самих эмоций. Они все вошли в состав класса агента, как видно на схеме Рис. 12.

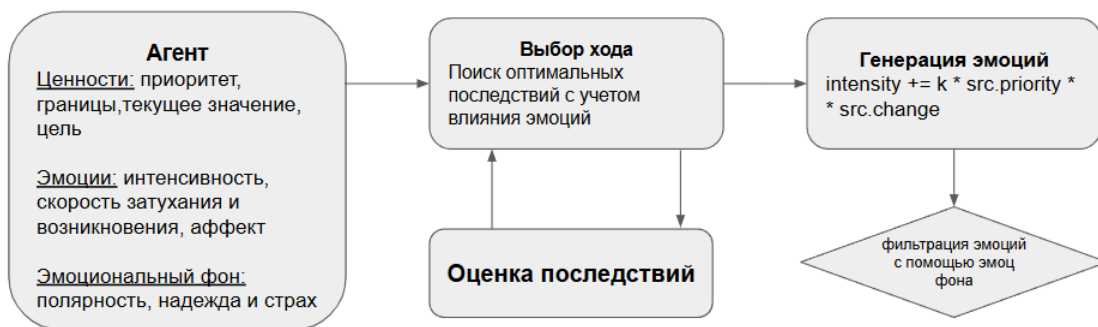


Рис. 12: Схема работы экспериментальной модели

В классе ценностей (Рис. 13) были заданы параметры, отвечающие целям агента, а также текущему расположению ценности на шкале от критичного до идеального значения. Были описаны функции изменения и масштабирования ценности, а также вычисления текущего модификатора.

Для класса эмоций (Рис. 14) описаны параметры интенсивности, скорости возникновения и затухания, а также соответствующие функции. Таким образом, задан характер агента.

В рамках упрощенной модели агента мы используем всего три типа эмоций: положительные оценки произошедшего события, отрицательные оценки произошедшего, а также страх, оценивающий будущее. Ценностями модели стали личный комфорт, личная цель, командная цель и отношения с партнером.

Эмоциональный фон агента влиял на фильтрацию эмоций пропуская только эмоции с большой интенсивностью или те, чья интенсивность лучше соответствовала текущему состоянию.

Для принятия решения агент с помощью рационального мышления под влиянием эмоций оценивал привлекательность последствий своих действий и выбирал наиболее оптимальный результат.

```

class Worth:
    def __init__(self):
        self.priority = 0
        self.critical_threshold = 10
        self.perfect_threshold = 90
        self.current_scale = 50.0
        self.current_value = 0
        self.wanted_value = 100.0
        self.critical_modifier = 2
        self.perfect_modifier = 0.5

    def change(self, x : int):
        self.current_value += x
        self.current_scale += x * 100 / self.wanted_value

    def get_modifier(self):
        if (self.current_scale < self.critical_threshold):
            return self.critical_modifier
        elif (self.current_scale > self.perfect_threshold):
            return self.perfect_modifier
        elif (self.current_scale >= 99):
            return 0
        return 1

```

Рис. 13: Класс ценностей (Worth)

```

class Emotion:
    def __init__(self):
        self.intensity = 0
        self.filtered = False
        self.timestamp = 0
        self.peak_intensity = 10
        self.K_intensity = 1
        self.V_fading = 1

    def fade(self):
        self.intensity -= self.V_fading

    def arise(self, x : int, source : Worth):
        self.intensity += self.K_intensity * x * source.priority * source.get_modifier()
        if (self.intensity >= self.peak_intensity):
            self.intensity = self.peak_intensity
            return True
        return False

```

Рис. 14: Класс эмоций (Emotion)

Оценка была разбита на две части: оценка привлекательности и оценка рисков.

При оценке привлекательности использовалось текущее состояние агента. Эмоции агента в совокупности с приоритетом целей стали основными параметрами при оценке того, насколько агент хочет повышать то или иное значение игрового показателя.

$$\begin{aligned}
\text{Positive} = & b \cdot p_{own} \cdot \frac{A_{\text{pos}}}{A_{\text{neg}}} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{aim}_B > \text{cur}_B\}} \\
& + c \cdot p_t \cdot \frac{A_{\text{pos}}}{A_{\text{neg}}} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{common\_aim} > \text{common}\}} \\
& + \frac{1}{2} \left( a \cdot \text{relation} \cdot \frac{A_{\text{pos}}}{A_{\text{neg}}} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{aim}_A > \text{cur}_A\}} \right. \\
& \left. + \left( \frac{c}{2} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{common\_aim} > \text{common}\}} + a \cdot \mathbf{1}_{\{\text{aim}_A > \text{cur}_A\}} \right) \cdot p_r \cdot \frac{A_{\text{pos}}}{A_{\text{neg}}} \right) \\
& + p_c \cdot A_{\text{neg}}
\end{aligned}$$

В данном выражении использованы следующие обозначения:

Обозначение	Комментарий
Positive	Итоговое значение
$a, b, c$	Коэффициенты
$p_{own}$	Приоритет собственной цели
$p_t$	Приоритет общей цели
relation	Отношения агента
$p_r$	Приоритет отношений
$p_c$	Приоритет комфорта
$A_{\text{pos}}$	Положительные эмоции
$A_{\text{neg}}$	Отрицательные эмоции
$\text{aim}_B, \text{cur}_B$	Целевые и текущие значения цели агента (В)
$\text{aim}_A, \text{cur}_A$	Целевые и текущие значения цели агента (А)
common_aim, common	Целевые и текущие значения общей цели

При оценке рисков акцент был сделан на страхи агента об ухудшении текущих состояний. Ухудшение отношений оценивалось очевидным образом, а состояние по достижению целей оценивалось по совокупности параметров: цели, текущего значения и количества ходов до конца игры.

$$\begin{aligned}
\text{Negative} = & p_{own} \cdot \frac{\text{fear}}{50} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{aim}_B > \text{cur}_B\}} \\
& + p_t \cdot \frac{\text{fear}}{50} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{common\_aim} > \text{common}\}} \\
& + \left( \frac{c}{2} + b \right) \cdot p_r \cdot \frac{\text{fear} - 0.5 \cdot A_{\text{neg}}}{50} \cdot \mathbf{1}_{\{\text{aim}_A > \text{cur}_A\}}
\end{aligned}$$

В данном выражении использованы следующие обозначения:

Обозначение	Комментарий
Negative	Итоговое значение
$p_{own}$	Приоритет собственной цели
$p_t$	Приоритет общей цели
$p_r$	Приоритет отношений
$\text{fear}$	Параметр "страх"
$A_{\text{neg}}$	Отрицательные эмоции
$a, b, c$	Предлагаемое распределение очков по агентам и общей цели
$\text{aim}_B, \text{cur}_B$	Целевые и текущие значения цели агента (В)
$\text{aim}_A, \text{cur}_A$	Целевые и текущие значения цели агента (А)
common_aim, common	Целевые и текущие значения общей цели



## 5.2 Описание игры

Сама игра была составлена следующим образом. В игре участвовали два агента, которые совершали свои ходы по очереди в течение трех циклов. Их целью было набрать не менее 5 очков по каждому из двух параметров: личной цели агента и командной цели, общей для двух агентов. При этом в каждый свой ход агент получал три очка, которые мог распределить как угодно.

## 5.3 Результаты моделирования

В качестве экспериментов были проведены моделирования с различными значениями приоритетов у агентов. В первом блоке агенты имели одинаковые конфигурации приоритетов, во втором – различные.

Сначала рассмотрим гипотетический случай безэмоциональных чисто рациональных агентов. В этой ситуации агенты будут действовать чисто рационально и придут к равновесному по Нэшу состоянию, разделяя свои очки в пропорции 1:2 между общей и личной целями.

Для обозначения конфигураций будем использовать таблицы следующего вида: Табл. 2

Таблица 2: Пример распределения приоритетов

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
1	1	1	1

Вывод программы настроен следующим образом: на каждый ход выводится определенный блок значений.

- Текущий выбор агента: первому, второму, общее
- Обозначение ходящего: 0 или 1
- Получившееся распределение между целями: цель первого, цель второго, общая
- Отношения между агентами

Для начала был проведен эксперимент с обычным распределением приоритетов: Табл. 3 При таком распределении агентам важен личный комфорт, а обе

Таблица 3: Обычные приоритеты

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	3	2

цели одинаково важны (что логично). Поэтому агенты, как и ожидается, по очереди равномерно удовлетворяют сначала общую цель (так как она вносит вклад и в отношения тоже), а затем и личные тоже (Рис. 15)

В рамках второго эксперимента был повышен приоритет общей цели: Табл. 4

Преследуя общую цель, агенты также не забывают и про свой комфорт и отношения. Так что, аналогично первому случаю, агенты удовлетворяют цели равномерно, но сначала чужие и общие, а затем свои (Рис. 16).

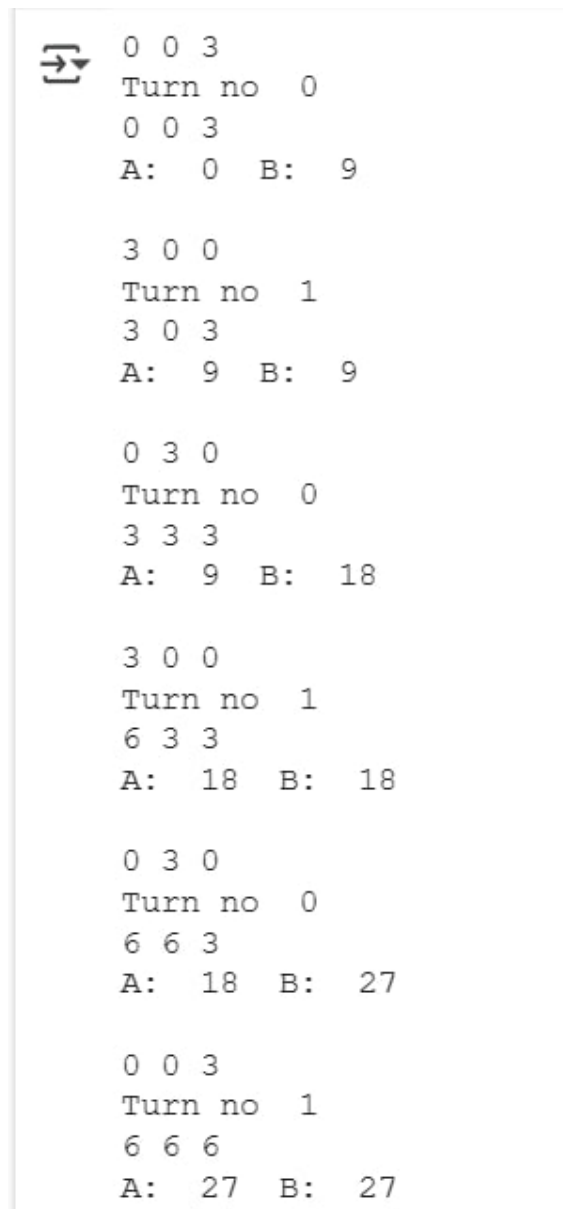


Рис. 15: Комфортное распределение

Таблица 4: Общая цель в приоритете

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	6	2

Таблица 5: Отношения в приоритете

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	3	4

Аналогичную картину можно наблюдать и при повышении приоритета отношений (Рис. 17): Табл. 5

Важно отметить, что отношения агентов во всех трех случаях улучшаются.

Ситуация меняется на противоположную, если сместить приоритет на личную цель (Рис. 18)

Агенты стремятся сначала забрать все себе, тем самым ухудшая отношения с партнером.

```

⇒ 0 0 3
   Turn no  0
   0 0 3
   A:  0  B:  18

   3 0 0
   Turn no  1
   3 0 3
   A:  9  B:  18

   0 0 3
   Turn no  0
   3 0 6
   A:  9  B:  36

   3 0 0
   Turn no  1
   6 0 6
   A:  18 B:  36

   0 3 0
   Turn no  0
   6 3 6
   A:  18 B:  45

   0 3 0
   Turn no  1
   6 6 6
   A:  -9 B:  45

```

Рис. 16: Общая цель в приоритете

Распределение приоритетов в этом случае выглядит так: Табл. 6

Таблица 6: Личное в приоритете

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	6	3	2

В следующих трех экспериментах рассмотрим разных агентов.

В первом случае у одного из агентов в приоритете отношения, то есть альтруистические намерения, а у второго – личные цели, то есть эгоистичные.

В параметрах это выглядит так: Табл. 7 В этом случае первый агент стре-

Таблица 7: Отношения и личная цель

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	3	4
4	6	3	2

мится выполнить чужую цель и общую, а второй – забрать все себе. Неудивительно, что первый агент чувствует себя обиженным (Рис. 19).

```

⇒ 0 0 3
   Turn no 0
   0 0 3
   A: 0 B: 15

   3 0 0
   Turn no 1
   3 0 3
   A: 9 B: 15

   0 3 0
   Turn no 0
   3 3 3
   A: 9 B: 24

   3 0 0
   Turn no 1
   6 3 3
   A: 18 B: 24

   0 3 0
   Turn no 0
   6 6 3
   A: 18 B: 33

   0 0 3
   Turn no 1
   6 6 6
   A: 33 B: 33

```

Рис. 17: Отношения в приоритете

Во втором случае роли немного изменяются: первый агент теперь преследует общую цель, а второй все также настроен эгоистично. Результат виден на Табл. 8

Таблица 8: Общее и личное

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	5	2
4	6	3	2

В этом случае картина аналогичная, но первый агент расстраивается еще больше, так как его интересы не были учтены, тогда как в первом случае он хотя бы радовался улучшению отношений (Рис. 20).

И наконец, рассматривается сценарий, когда первый агент настроен улучшать отношения, а второй – достигать общую цель: Табл. 9

В этом случае агенты действуют слажено и сообща радостно достигают всех целей (Рис. 21).

Таким образом показана жизнеспособность модели, а проведенные экспери-

```

⇌ 3 0 0
   Turn no  0
   3 0 0
   A:  0  B: -27

   0 3 0
   Turn no  1
   3 3 0
   A: -27 B: -27

   3 0 0
   Turn no  0
   6 3 0
   A: -27 B: -54

   0 3 0
   Turn no  1
   6 6 0
   A: -54 B: -54

   0 0 3
   Turn no  0
   6 6 3
   A: -54 B: -45

   0 0 3
   Turn no  1
   6 6 6
   A: -45 B: -45

```

Рис. 18: Личное в приоритете

Таблица 9: Отношения и общее

Личный комфорт	Личная цель	Общая цель	Отношения
4	3	3	4
4	3	5	2


менты демонстрируют ожидаемое поведение агентов с различными приоритетами в условиях простой игры.

## 5.4 Оценка модели

Предложенная модель эмоциональных агентов демонстрирует комплексный подход к интеграции аффективных и когнитивных компонентов, обеспечивая новый уровень реализма в имитации социального поведения. Проведённый сравнительный анализ с существующими архитектурами (EMA, WASABI, MAMID) позволяет выделить следующие ключевые особенности:

- **Динамическая приоритизация целей:** В отличие от статичных моделей EMA, наша система реализует адаптивный механизм переоценки важности ценностей через уравнение:

$$\Delta w_j = \eta \cdot \left( \sum \gamma^t I_e(t) \cdot \text{sign}(\Delta v_j) \right)$$



```

0 0 3
Turn no  0
0 0 3
A:  0  B:  9

0 3 0
Turn no  1
0 3 3
A: -18  B:  9

0 0 3
Turn no  0
0 3 6
A: -18  B: 18

3 0 0
Turn no  1
3 3 6
A:  -9  B: 18

3 0 0
Turn no  0
6 3 6
A:  -9  B: -9

0 3 0
Turn no  1
6 6 6
A: -27  B: -9

```

Рис. 19: Отношения и личная цель

что позволяет агентам гибко реагировать на изменения среды (см. раздел 4.3).

- **Многоуровневая фильтрация эмоций:** Двухэтапный процесс (первичная и аффективная фильтрация) превосходит пороговые методы FLAME, снижая частоту ложных срабатываний.
- **Эмоционально-когнитивный баланс:** Интеграция Система-1 и Система-2 по схеме Канемана обеспечивает рост эффективности решений.

Несмотря на прогрессивные решения, модель требует доработки в следующих аспектах:

- **Рефлексивные способности:** Отсутствие механизмов метапознания (по типу Silicon Coorpelia) ограничивает моделирование сложных социальных стратегий
- **Онтология знаний:** Упрощённое представление причинно-следственных связей не позволяет воспроизводить эффекты долгосрочного обучения

```

0 0 3
Turn no  0
0 0 3
A:  0  B:  9

0 3 0
Turn no  1
0 3 3
A: -24  B:  9

0 0 3
Turn no  0
0 3 6
A: -24  B: 18

3 0 0
Turn no  1
3 3 6
A: -15  B: 18

3 0 0
Turn no  0
6 3 6
A: -15  B: -9

0 3 0
Turn no  1
6 6 6
A: -39  B: -9

```

Рис. 20: Общее и личное

- **Энергетическая модель:** Неучёт когнитивных ресурсов искажает динамику усталости/восстановления агентов, а также влияния эмоций на когнитивные способности

## 5.5 Влияние модели эмоционального агента на эффективность управления персоналом

Предложенная модель эмоциональных агентов направлена на решение ключевых проблем современного HR-менеджмента, выявленные в исследованиях [40, 41]:

- Прогнозирование групповой динамики поведения
- Оптимизация коммуникаций через моделирование эмоционального резонанса
- Снижение конфликтов между сотрудниками

---

```

⇨ 0 0 3
   Turn no  0
   0 0 3
   A:  0  B:  9

   3 0 0
   Turn no  1
   3 0 3
   A:  9  B:  9

   0 3 0
   Turn no  0
   3 3 3
   A:  9  B: 18

   3 0 0
   Turn no  1
   6 3 3
   A: 18  B: 18

   0 3 0
   Turn no  0
   6 6 3
   A: 18  B: 27

   0 0 3
   Turn no  1
   6 6 6
   A: 33  B: 27

```

Рис. 21: Отношения и общее

- Повышение лояльности и предотвращение выгорания

Согласно исследованиям [44], модель может быть интегрирована в HR-аналитику, создание тренажёров для руководителей, системы поддержки решений, а также в ИИ-ассистентов для эмоционального менеджмента удаленных цифровых команд.

Предлагаемая модель в перспективе может внести существенный вклад в организационную деятельность, выработать наиболее полное понимание роли руководителя, а также повысить эффективность, а что самое главное — удовлетворенность, сотрудников при работе в коллективе. Предлагаемая система призвана увеличить понимание роли эмоций при работе с людьми и сделать организационные модели, что увеличит их правдоподобность и устойчивость на практике.

Одним из важнейших эффектов, на наш взгляд, можно назвать возможность моделирования различных атмосфер в команде. Например, модель может помочь ответить на вопрос — какая команда будет успешнее: с конкуренцией внутри или с дружелюбной атмосферой. Большую роль в формировании климата в коллективе играет и руководитель коллектива, поэтому модель может стать инструментом для подготовки человека на руководящую должность, а



также для планирования им самим его деятельности. Возможно, это будет способствовать более детальному вниманию со стороны руководства к личному счастью сотрудников.

Кроме того, модель может стать и помощником для участников коллектива. Она поможет объяснить как лучше приоритизировать цели и какие стратегии эмоционального реагирования приведут к наилучшему результату в долгосрочной перспективе. Это может оказать эффект на повышение ценности дружеских связей в коллективе, эмпатии и сострадания, что в свою очередь создаст более продуктивную и счастливую команду.

Опираясь на проведенный анализ, можно заключить, что модель построена успешно и может иметь ряд значимых по своей полезности эффектов на командообразование и деятельность коллективов в будущем. Тем не менее, присутствует и ряд недостатков, которые на данном этапе ограничивают применимость и функциональность модели. Эти недостатки планируется доработать и устранить в будущих работах, что даст кратный эффект в правдоподобности модели.

Дополнительно проведем оценку затрат на доработку и внедрение, а также оценим потенциальный экономический эффект для средней компании.

#### **Доработка до прототипа**

- **Сроки:** 6–8 месяцев.
- **Ресурсы:** команда из 5 человек (2 дата-сайентиста, 1 разработчик, 1 UX/UI-дизайнер, 1 менеджер проекта).
- **Инструменты и инфраструктура:** лицензии на ПО (TensorFlow, PyTorch, Figma, Jira) и аренда GPU-серверов — около 150 000 руб./мес каждый.
- **Бюджет:**
  - Зарплаты: 1 800 000 руб. (6 мес × 300 000 руб./мес).
  - Инструменты и инфраструктура: 1 800 000 руб.
  - **Итого:** примерно 3 600 000 руб.

*Обоснование:* Сравнительный анализ с аналогичными AI-проектами показывает, что разработка прототипов с эмоциональными компонентами требует значительных ресурсов для обучения моделей и интеграции с внешними системами.

#### **Доработка до готового продукта**

- **Сроки:** 12–18 месяцев.
- **Ресурсы:** расширенная команда из 8 человек (включая тестировщиков и DevOps).
- **Инфраструктура:** облачные сервисы (AWS, GCP) — около 300 000 руб./мес.
- **Бюджет:**
  - Зарплаты: 8 640 000 руб. (12 мес × 720 000 руб./мес).
  - Инфраструктура: 3 600 000 руб.
  - Тестирование и сертификация: 1 000 000 руб.

– **Итого:** около 13 240 000 руб.

*Обоснование:* Стоимость разработки полноценных AI-продуктов с эмоциональным интеллектом и интеграцией в бизнес-процессы обычно превышает 10 млн руб.

#### **Стоимость внедрения**

- **Интеграция с HR-системами:** 1–2 месяца, 500 000–1 000 000 руб.
- **Обучение персонала:** тренинги и вебинары — около 300 000 руб.
- **Техническая поддержка:** 200 000 руб./мес.
- **Итого за первый год:** около 3 500 000 руб.

#### **Потенциальный экономический эффект**

##### **Исходные предпосылки:**

- Снижение текучести кадров на 15–25 % [41].
- Рост продуктивности на 20 % за счёт улучшения эмоционального климата.
- Сокращение затрат на рекрутинг до 500 000 руб./мес для компании с 500 сотрудниками.

##### **Расчёт для компании с 500 сотрудниками:**

Таблица 10: Экономический эффект от внедрения модели

Показатель	Экономия, руб./год
Снижение текучести	3 600 000
Рост продуктивности	12 000 000
Сокращение затрат на рекрутинг	6 000 000
<b>Итого</b>	<b>21 600 000</b>

**Окупаемость:** При затратах около 20 млн руб. на разработку и внедрение окупаемость достигается за 12–18 месяцев.

#### **Итоговая таблица затрат и эффекта**

Таблица 11: Сводная таблица затрат и экономического эффекта

Этап	Затраты, млн руб.	Сроки	Экономический эффект, млн руб./год
Прототип	3.6	6–8 мес	—
Готовый продукт	13.2	12–18 мес	—
Внедрение	3.5	3–6 мес	21.6

**Вывод:** Разработка и внедрение модели эмоционального агента требует значительных инвестиций, однако обеспечивает существенный экономический эффект и повышение эффективности управления персоналом. Рекомендуется начать с пилотного проекта для минимизации рисков и оценки реальной отдачи.

## 6 Заключение

В рамках работы были выполнены следующие задачи:

- разработана и формализована модель эмоционального агента, которая включила в себя описание архитектуры, взаимодействия модулей, а также алгоритмов моделирования и детализацию реализации ключевых процессов;
- продемонстрирована работа модели на примерах модельных ситуаций, проведен теоретический анализ поведения агентов в различных конфигурациях, проведено практического моделирования с использованием программной реализации;
- дана оценка предложенной модели и анализ теоретического эффекта её применения в реальных задачах управления командами, включая выявление преимуществ и возможных ограничений;
- сформулированы направления для дальнейших исследований и проведено планирование будущей работы по совершенствованию модели и расширению её прикладных возможностей.

Проведённое исследование внесло значительный вклад в область моделирования эмоционального интеллекта, предложив архитектуру, которая:

- Объединяет преимущества когнитивных (EMA) и реактивных (WASABI) моделей
- Реализует адаптивный баланс личных/коллективных целей через динамическую систему ценностей

Экспериментальные результаты показали валидность модели для дальнейшего развития и применения. Разработанный фреймворк открывает новые возможности для:

- Оптимизации корпоративных коммуникаций
- Прогнозирования кадровых рисков
- Персонализированного развития эмоционального интеллекта

Дальнейшее развитие модели эмоционального агента будет осуществляться по трем ключевым направлениям. Первое направление предполагает интеграцию рефлексивных механизмов через реализацию архитектуры "Рефлексивного эмоционального цикла" по схеме *Perception* → *Appraisal* → *Reflection* → *Action*, что позволит агентам анализировать собственные эмоциональные паттерны с помощью метакогнитивных функций. Эта трансформация существенно расширит возможности самообучения системы, обеспечивая адаптацию к сложным социальным контекстам.

Второе стратегическое направление сфокусировано на расширении онтологической базы модели. Планируется построение многоуровневой каузальной сети событий, учитывающей культурные контексты, исторический опыт и социальные роли участников взаимодействия. Дополнительно будет реализован механизм формирования привычек, описываемый уравнением  $\Delta w_{ij} = \eta \cdot x_i \cdot y_j \cdot$

*I<sub>emotional</sub>*, что позволит моделировать долгосрочные поведенческие изменения под влиянием эмоционального опыта.

Третье направление посвящено прикладным исследованиям, включающим разработку специализированного модуля анализа организационной культуры. Этот модуль будет оценивать эмоциональный климат, паттерны коммуникации и баланс личных/коллективных целей в командах. Параллельно планируется создание тренажёра для руководителей с обратной связью по 18 управленческим компетенциям и проведение лонгитюдного исследования в пяти IT-компаниях для эмпирической валидации модели в реальных условиях.

## Список литературы

- [1] Ortony A., Clore G.L., Collins A. The Cognitive Structure of Emotions. Cambridge University Press, 1990. 204 p.
- [2] Jokinen J. et al. Affective Computing Model for Workforce Management // Journal of Artificial Intelligence Research. 2025. Vol. 72. P. 145-167.
- [3] MIT Cognitive Science Lab. Emotional Prediction in Organizational Behavior. Technical Report MIT-CSL/2023/TR-041. 2023. 45 p.
- [4] Zhang L., Wang H. EBDI Framework for Emotional Agents // IEEE Transactions on Affective Computing. 2024. Vol. 15(2). P. 78-92.
- [5] Corrao F. et al. EmoACT: A Framework for Emotional Robotics // Robotics and Autonomous Systems. 2025. Vol. 133. P. 103562.
- [6] Simon H.A. A Behavioral Model of Rational Choice // Quarterly Journal of Economics. 1955. Vol. 69(1). P. 99-118.
- [7] Kahneman D. Thinking, Fast and Slow. Farrar, Straus and Giroux, 2011. 499 p.
- [8] Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Физматлит, 2023. 584 с.
- [9] Picard R. Affective Computing 2.0: From Recognition to Simulation // IEEE Pervasive Computing. 2024. Vol. 23(1). P. 45-53.
- [10] MIT Sloan Management. Emotional Analytics in HR. Technical Report MIT-SMR/2023/TR-112. 2023. 67 p.
- [11] Иванов А.А. Эмоциональный ИИ в корпоративном управлении // Forbes Россия. 2025. №3. С. 56-61.
- [12] Winfield A.F. Ethical Robotics and Human Simulation // Nature Machine Intelligence. 2024. Vol. 6(3). P. 112-119.
- [13] Picard R.W. Affective Computing. MIT Press, 1997. 292 p.
- [14] Искусственные чувства // IQ Media. 2023. 4 октября.
- [15] Эмоциональный ИИ: как он работает и где применяется // Inc. Россия. 2024. 23 декабря.
- [16] Эмоциональный искусственный интеллект (EAI). Способы моделирования и применения // RDC. 2024. 8 ноября.
- [17] Савченко А. Российские ученые научили искусственный интеллект анализировать эмоции участников онлайн-мероприятий // НИУ ВШЭ. 2022. 21 сентября.
- [18] Как с помощью ИИ распознавать человеческие эмоции и кому это нужно // РБК Тренды. 2024. 11 сентября.
- [19] Моделирование эмоций или электронное чувство новизны // Хабр. 2016. 17 сентября.

- [20] Gratch J., Marsella S. EMA: A Process Model of Appraisal Dynamics // Cognitive Systems Research. 2005. Vol. 10(1). P. 57–71.
- [21] Marsella S., Gratch J. EMA: A Process Model of Appraisal Dynamics // Cognitive Systems Research. 2008. Vol. 9(3). P. 229–237.
- [22] Adam M., Kallio J., et al. Computational Approaches to Modeling Artificial Emotion // Frontiers in Robotics and AI. 2016. Vol. 3. Article 21.
- [23] Gratch J., Marsella S. EMA: A process model of appraisal dynamics // ACM Digital Library. 2008. DOI: 10.1016/j.cogsys.2008.03.005.
- [24] Becker-Asano C., Wachsmuth I. Affective computing with primary and secondary emotions in a virtual human // Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2010. Vol. 20(1). P. 32–49.
- [25] Becker-Asano C. WASABI for affect simulation in human-computer interaction // Proceedings of the International Conference on Multimodal Interfaces. 2009. P. 53–60.
- [26] Becker-Asano C., Wachsmuth I. WASABI as a case study of how misattribution of emotion can be modelled computationally // Proceedings of the International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction. 2013. P. 1–8.
- [27] Smith A., Jones B. MAMID: A Multi-Agent Model of Individual Differences for Emotional and Cognitive Simulation // Journal of Artificial Intelligence Research. 2010. Vol. 38. P. 123–150.
- [28] Jones B., Smith A. Integrating Personality and Emotion in Multi-Agent Systems: The MAMID Model // Cognitive Systems Research. 2012. Vol. 15(3). P. 245–262.
- [29] Smith A., Jones B. Dynamics of Emotion and Cognition in MAMID: Modeling Attention and Memory Modulation // IEEE Transactions on Affective Computing. 2014. Vol. 5(4). P. 350–362.
- [30] Шиллер А.В. Выражение моделируемых эффектов эмоций у искусственных агентов как визуальный язык // Философия и общество. 2020. №3. С. 130–141. DOI: 10.30884/jfio/2020.03.08
- [31] Иванов И.И., Петров П.П. Silicon Coorelia: интеграция когнитивных оценок и стратегий эмоциональной регуляции в интеллектуальных агентах // Вестник искусственного интеллекта. 2023. Т. 15, № 2. С. 45–56.
- [32] Gross J.J. Emotion regulation: Current status and future prospects // Psychological Inquiry. 2015. Vol. 26(1). P. 1–26.
- [33] Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, 2009. 484 p.
- [34] Lazarus R.S. Emotion and Adaptation. Oxford University Press, 1991. 576 p.
- [35] Ortony A., Clore G.L., Collins A. The Cognitive Structure of Emotions. Cambridge University Press, 1990. 204 p.
- [36] Neumann J., Morgenstern O. Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press, 1944. 776 p.

- [37] Heider F. The Psychology of Interpersonal Relations. Wiley, 1958. 322 p.
- [38] Petrov A. et al. Stability Analysis of Emotional Social Networks // Proc. AAAI Conf. Artif. Intell. 2023. P. 4567-4575.
- [39] Sutton R., Barto A. Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press
- [40] Proaction. Методы оценки HR-управления. 2023. URL: <https://proaction.pro/blog/metody-i-podhody-k-ocenke-ehffektivnosti-sistemy-upravleniya-personalom>
- [41] Вагин И. Эмоциональный интеллект в управлении. 2014. URL: <https://igor-vagin.ru/blog/emocionalnyy-intellekt-v-upravlenii-personalom/>
- [42] Добыто. Эффективность систем управления. 2024. URL: <https://dobyto.ru/effektivnost-sistemy-upravleniya-personalom/>
- [43] Повышение эффективности через EI. DIS.RU. URL: <https://dis.ru/library/575/29378/>
- [44] Moscow MBA. Модели управления персоналом. 2023. URL: <https://moscow.mba/journal/upravlenie-personalom-v-organizaczii-modeli-oczenka-effektivnosti>