

Интегрированная теоретическая модель: Рекурсивный цикл образования и исследований с ИИ-агентами

Резюме

Данный документ представляет синтез двух классических теорий образования – концепции "Зона ближайшего развития" Льва Выготского и теории "Поэтапное формирование умственной деятельности" Петра Гальперина – в единую рекурсивную модель взаимодействия людей и ИИ-агентов. Модель применима как для случаев, когда человек выступает учеником (ИИ-агент как учитель), так и для обратного сценария (ИИ-агент как ученик, человек как учитель).

1. Теоретические основания

1.1 Зона ближайшего развития (Выготский, 1932-1934)

Определение: ЗБР – это область между актуальным уровнем развития (то, что субъект может делать самостоятельно) и потенциальным уровнем (то, что может быть достигнуто при сотрудничестве с более компетентным партнером).

Ключевые свойства:

- **Динамичность:** ЗБР не статична, она движется по мере развития
- **Индивидуальность:** Каждый субъект имеет уникальную ЗБР
- **Диагностичность:** ЗБР позволяет прогнозировать развитие
- **Социальность:** Обучение происходит через взаимодействие

Математическая формализация:

$$\text{ЗБР} = \{\text{задачи: } A(x) \leq P(x) \ \< \ A(x) + \epsilon\}$$

где:

$A(x)$ - актуальный уровень

$P(x)$ - потенциальный уровень при поддержке

ϵ - индивидуальный "диапазон развития"

1.2 Поэтапное формирование умственной деятельности (Гальперин, 1952)

Основной постулат: Переход от внешних материальных действий во внутренние умственные действия происходит последовательно через шесть этапов интериоризации.

Этапы:

№	Этап	Характеристика	Форма	Ключевой механизм
1	Мотивационный	Формирование отношения к действию	Мотивационная основа	Личностная значимость
2	Ориентировочный	Ознакомление со структурой действия	Явная ориентировочная основа	Когнитивная карта
3	Материальный	Выполнение с реальными объектами	Материальное действие	Предметная манипуляция
4	Речевой громкий	Громкое проговаривание без предметов	Внешняя речь	Вербализация
5	Речевой скрытый	Беззвучное проговаривание "про себя"	Внешняя речь про себя	Интериоризация
6	Умственный	Полная автоматизация, свернутое действие	Умственное действие	Когнитивная операция

Интериоризация как преобразование:

Действие *A* претерпевает изменения по четырем параметрам:

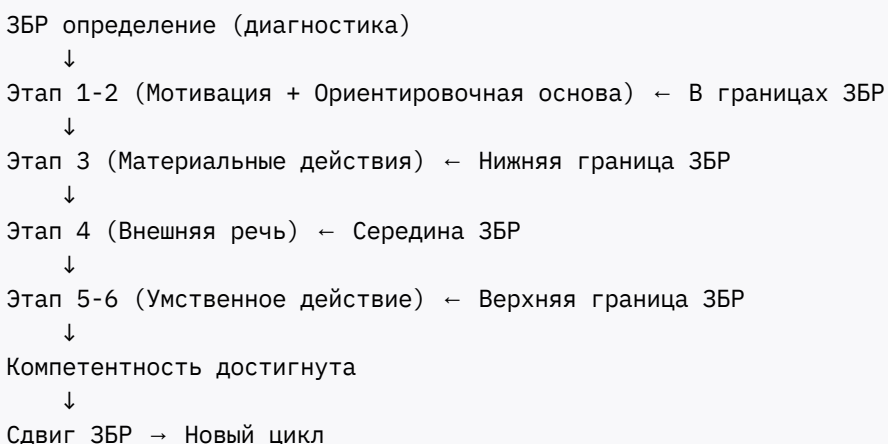
1. **Уровень выполнения:** материальный → внутренний
2. **Полнота операций:** развернутое → свернутое
3. **Обобщенность:** конкретное → абстрактное
4. **Автоматизированность:** контролируемое → автоматическое

2. Интегрированная модель: Рекурсивный цикл

2.1 Общая структура

Интеграция происходит на двух уровнях:

Уровень 1: Синхронизация этапов Гальперина с ЗБР Выготского



Уровень 2: Рекурсивность

Каждый успешно завершённый цикл смещает границы ЗБР вверх, создавая новые возможности для следующего цикла.

Цикл₁: ЗБР₁ → [Этапы 1-6] → Компетентность₁ → ЗБР₂
 Цикл₂: ЗБР₂ → [Этапы 1-6] → Компетентность₂ → ЗБР₃
 Цикл₃: ЗБР₃ → [Этапы 1-6] → Компетентность₃ → ЗБР₄
 ...
 Цикл_n: ЗБР_n → [Этапы 1-6] → Компетентность_n → Экспертиза

2.2 Двусторонность: человек-ученик и ИИ-ученик

Вариант А: Человек как ученик, ИИ-агент как учитель

Компонент	ИИ-учитель	Человек-ученик
ЗБР диагностика	Анализирует попытки, выясняет уровень	Демонстрирует понимание и ошибки
Ориентировочная основа	Предоставляет примеры, правила, алгоритмы	Изучает и запрашивает уточнения
Материальные действия	Моделирует, показывает процесс	Выполняет с подсказками
Внешняя речь	Задаёт вопросы, требует объяснения	Проговаривает процесс
Внутренняя речь	Предоставляет задачи без подсказок	"Думает про себя"
Валидация	Проверяет овладение, даёт обобщение	Демонстрирует автоматизм

Вариант В: ИИ-агент как ученик, человек как учитель

Компонент	Человек-учитель	ИИ-ученик
ЗБР диагностика	Тестирует способности ИИ	Демонстрирует текущие возможности
Ориентировочная основа	System prompts, примеры, стандарты	Читает/обрабатывает инструкции
Материальные действия	Показывает пример решения	Генерирует первый черновик (token gen)
Внешняя речь	Просит объяснить (CoT)	Рассуждает в контексте
Внутренняя речь	Дает feedback, корректирует	In-context learning, адаптирует веса
Валидация	Проверяет на новых примерах	Демонстрирует обобщение

2.3 Математическая модель цикла

Состояние обучающегося (учащегося):

$$S_t = (Z_t, C_t, E_t, P_t)$$

где:

- Z_t = ЗБР на итерации t
- C_t = Компетентность (уровень овладения)

- E_t = Энергия/мотивация
- P_t = Параметры Гальперина

Переход между этапами:

$$E_i^{out} = f(E_i^{in}, F_t, O_t)$$

где:

- E_i^{in} = вход на этап i
- E_i^{out} = выход на этап i
- F_t = обратная связь от учителя (teacher feedback)
- O_t = ориентировочная основа действия

Условие сдвига ЗБР:

$$Z_{t+1} = Z_t + \Delta Z$$

где только если $C_t \geq C_{threshold}$ (компетентность достаточна)

3. Роли и функции в цикле

3.1 Для ИИ-агента как учителя

Функция диагностики:

- Предложить задачи возрастающей сложности
- Выявить тип ошибок
- Определить актуальный и потенциальный уровни

Функция скаффолдинга (поддержки):

- Разложить задачу на подзадачи
- Предоставить подсказки, начиная с минимальных
- Постепенно увеличивать независимость

Функция адаптации:

- Изменять уровень помощи в реальном времени
- Варьировать примеры и контексты
- Переходить между этапами на основе прогресса

Функция валидации:

- Проверять овладение через контрольные задачи
- Оценивать обобщение на новые контексты
- Определять готовность к сдвигу ЗБР

3.2 Для человека как учителя ИИ

Функция структурирования:

- Написание четких system prompts
- Подготовка репрезентативных примеров
- Определение критериев качества

Функция оценивания:

- Анализ сгенерированного решения
- Идентификация ошибок (концептуальные, вычислительные, стилистические)
- Определение причин и закономерностей

Функция обратной связи:

- Формулировка конструктивных исправлений
- Указание на ограничения и предположения
- Демонстрация альтернативных подходов

Функция рекурсии:

- Решение о переходе на новый уровень
- Возврат на предыдущие этапы при необходимости
- Отслеживание долгосрочного прогресса

4. Применение в образовании

4.1 Сценарий: Дистанционное обучение программированию

Цикл 1: Базовые конструкции

- ЗБР: от понимания переменных к циклам
- Этапы: примеры → практика с подсказками → проговаривание логики → самостоятельные задачи

Цикл 2: Объектно-ориентированное программирование

- ЗБР: от функций к классам
- Адаптация: реальные примеры → проблемные ситуации → творческие проекты

Цикл 3: Распределенные системы

- ЗБР: от синхронного к асинхронному
- Применение: исследовательские задачи, анализ production кода

4.2 Адаптивные параметры

Темп обучения регулируется через:

- Время между этапами
- Количество примеров до практики
- Сложность контрольных задач

Стиль варьируется через:

- Способ объяснения (визуальный, вербальный, кинестетический)
- Тип примеров (абстрактные, из реальной жизни)
- Структура задач (линейные, проблемные, творческие)

5. Применение в исследованиях

5.1 ИИ-агент как исследовательский ассистент

ЗБР исследователя: от базовых методов к передовым техникам

Цикл 1: Введение в методологию

- Обучение ИИ специфическим методам через явные инструкции
- Применение к известным датасетам
- Проверка воспроизводимости

Цикл 2: Адаптация к новым данным

- Применение методов к новому набору данных
- Управление неожиданными ситуациями
- Интеграция feedback исследователя

Цикл 3: Инновация

- Комбинирование методов для новых вопросов
- Критический анализ результатов
- Предложение альтернативных интерпретаций

5.2 Совместное исследование

Модель сотрудничества:

1. Человек определяет вопрос исследования
2. ИИ генерирует гипотезы и методологии
3. Человек направляет, используя экспертизу
4. ИИ выполняет анализ, предоставляя промежуточные результаты

- 5. Человек интерпретирует и корректирует
- 6. ИИ усваивает коррекцию для следующих анализов

6. Метрики и оценка прогресса

6.1 Метрики для человека-ученика

Метрика	Определение	Интерпретация
Точность	% правильных решений	Овладение содержанием
Скорость	Время на решение	Автоматизация навыка
Вербализация	Качество объяснения процесса	Осознанность
Обобщение	Успех на новых контекстах	Глубокое понимание
Уверенность	Самооценка способности	Мотивация для сдвига ЗБР

6.2 Метрики для ИИ-ученика

Метрика	Определение	Интерпретация
Точность	Совпадение с эталоном	Овладение задачей
Консистентность	Вариабельность между запусками	Стабильность
Разъяснимость	Качество CoT рассуждения	Метакогнитивная осведомленность
Обобщение	Сохранение качества на новых данных	Перенос знаний
Эффективность	Ресурсы на достижение целей	Оптимальность обучения

7. Критические замечания и ограничения

7.1 Различия между человеческим и ИИ обучением

Память:

- Человек: ограниченная, требует спирального повторения
- ИИ: неограниченная в контексте, но без долгосрочной памяти (без fine-tuning)

Понимание:

- Человек: конструирует ментальные модели
- ИИ: выявляет статистические закономерности

Мотивация:

- Человек: социальная, внутренняя, самоопределение
- ИИ: функция потерь, RLHF сигнал

Обобщение:

- Человек: интуитивное, часто переносит между контекстами
- ИИ: формальное, может быть хрупким за границами обучения

7.2 Необходимые корректировки модели

Для человека-ученика:

- Учет социального и эмоционального контекста
- Длительные перерывы для консолидации памяти
- Формирование устойчивой внутренней мотивации

Для ИИ-ученика:

- Явное моделирование неопределенности
- Регулярная проверка hallucinations
- Долгосрочное обучение через fine-tuning, а не только контекст

8. Будущие направления

8.1 Усложнение модели

1. **Многоагентные системы:** несколько ИИ-учителей с разными подходами
2. **Нестационарная ЗБР:** среда с меняющимися вызовами
3. **Метаобучение:** обучение того, как обучаться

8.2 Практические применения

1. **Персонализированное образование:** адаптивные системы на основе модели
2. **Исследовательские инструменты:** ИИ-ассистенты с предсказуемым и управляемым обучением
3. **Организационное обучение:** масштабируемое развитие компетенций

Заключение

Интегрированная модель, объединяющая концепции Выготского и Гальперина в рекурсивный цикл, предоставляет научно обоснованную основу для проектирования эффективных систем взаимодействия людей и ИИ-агентов. Ключевые характеристики модели:

1. **Научность:** опирается на классические теории образовательной психологии
2. **Универсальность:** применима в обоих направлениях (человек как ученик и ИИ как ученик)
3. **Адаптивность:** динамическая адаптация к развивающимся способностям
4. **Рекурсивность:** непрерывный прогресс через смещение ЗБР

5. **Практичность:** конкретные инструменты и метрики для реализации

Эта модель открывает новые возможности как для образования, так и для исследований, позволяя создавать более умные, адаптивные и эффективные системы обучения и сотрудничества между людьми и машинами.

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27]

✳

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Зона_ближайшего_развития
2. <https://pdfs.semanticscholar.org/7724/135c629cea622ae549ef97e36e2ed5007185.pdf>
3. <https://4brain.ru/blog/теория-умственных-действий/>
4. https://insights.made-in-china.com/ru/What-Are-ChatGPT-Agents-and-Why-They-re-Changing-How-We-Use-AI_VAltCRGvEHb.html
5. <https://itinai.ru/создание-продвинутого-нейронного-ar/>
6. <https://ai.radensa.ru/archives/1679>
7. <https://institute-neuro.ru/blog/scaffolding>
8. <https://studfile.net/preview/4284102/page:3/>
9. http://cat.ifmo.ru/sites/default/files/2025-02/CAT_2024_v9-i2_485_1.pdf
10. https://pedlib.ru/Books/3/0024/3_0024-177.shtml
11. <https://studfile.net/preview/8960011/page:103/>
12. <https://psyfactor.org/hist/galperin-2.htm>
13. <https://ojs.wkau.kz/index.php/gbj/article/view/2702>
14. <https://blogs.epsilonmetrics.ru/kak-nauchit-ai-agenta-otvechat-na-voprosy/>
15. <https://bigenc.ru/c/forma-deistviia-v-kontseptsii-gal-perina-f146fc>
16. <https://www.youtube.com/watch?v=c2wPmDinKV4>
17. <https://vc.ru/ai/1658051-obuchenie-ii-s-ispolzovaniem-obratnoi-svyazi-ot-cheloveka>
18. <https://studfile.net/preview/13835295/>
19. <https://psy.su/feed/12019/>
20. <https://vc.ru/ai/2072030-obuchenie-intellektualnykh-agentov>
21. <https://tldv.io/ru/blog/ai-agent-course/>
22. <https://xiairworld.com/ru/теория-льва-выготского/>
23. https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_планомерно-поэтапного_формирования_умственных_действий_и_понятий
24. <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/740832/>
25. https://digida.mgpu.ru/index.php/Зона_ближайшего_развития
26. <https://studfile.net/preview/9430712/page:4/>
27. <https://habr.com/ru/companies/amvera/articles/933460/>