

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЕСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Тимофеев А.Н.

Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия
antimofeev@fa.ru

Главинская А.А.

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Россия*
glavinskaya20@gmail.com

Аннотация. Предложен метод выявления деструктивных факторов в обучении через инверсию модели Хэтти. Разработаны формализованные модели ИОТ и интеллектуальных агентов для снижения их влияния, обеспечивая адаптацию цифровых образовательных сред к индивидуальным особенностям учащихся.

Ключевые слова: деструктивные факторы, электронное обучение, индивидуальная образовательная траектория, эффект Коэна, модель Хэтти, интеллектуальные агенты, граф знаний, адаптивная модель обучения, ИОС, семантический анализ факторов.

Введение

Цифровизация образования и внедрение электронных образовательных сред (ИОС) требуют новых подходов к обеспечению качества обучения. Одной из ключевых проблем остается влияние деструктивных факторов, препятствующих достижению планируемых образовательных результатов. В настоящей работе предложен подход к выявлению таких факторов на основе инверсии положительных факторов из мета-анализа Дж. Хэтти, а также рассмотрена возможность их формального учета в модели индивидуальной образовательной траектории (ИОТ).

1. Теоретические основы исследования

1.1. Понятие деструктивных факторов в обучении

Деструктивные факторы в образовании – это системные проблемы, которые снижают качество обучения, ограничивают доступность знаний и препятствуют развитию обучающихся или усиливают неравенство. Среди деструктивных факторов также необходимо упомянуть устаревшие методы и программы обучения, и нехватку междисциплинарности.

1.2. Мета-анализ Хэтти и эффект Коэна

С учётом особенностей построения ИОТ в ИЭОС деструктивные факторы необходимо рассматривать как такие внешние и внутренние воздействия на учебный процесс, которые повышают вероятность недостижения требуемого уровня освоения в заданные сроки. Следовательно, это факторы, которые влияют на то, что обучающийся не освоил отдельный модуль образовательной программы в заданные сроки, а в целом увеличивает расхождение между плановой и фактической ИОТ.

Анализ факторов, влияющих на электронное обучение приведен в работах Д.С. Гнедых [1], С.С. Ермакова [2] и И.Х. Бикмухаметова и соавторов [3].

Дж. Хэтти [4, 5] провел масштабный мета-анализ собранных данных с 1980-х по 2008 год, направленный на выявление факторов, которые наиболее значимо влияют на успеваемость учащихся. Была обобщена информация около 1200 других аналитических работ, охватывающих примерно 80 миллионов учащихся из разных стран и образовательных систем для определения того, какие стратегии, методы и условия обучения дают наибольший эффект.

Хэтти ранжировал около 130 факторов по величине эффекта Коэна d – статистическому показателю, который измеряет разницу между группами: $d = 0,4$ считается «средним» эффектом, факторы с $d > 0,6$ считаются высокоэффективными. Некоторые из проанализированных факторов с $d > 0,6$ приведены в таблице 1, где указано наименование фактора, его домен (то есть область процесса обучения, к которой он относится), вводимое в настоящей работе условное обозначение, значение величины эффекта Коэна, описание фактора по Хэтти и инверсия описания, сформулированная в настоящей работе.

Недостатки такого подхода, такие как невозможность точного измерения самооценки знаний обучающихся, отмечены в некоторых работах [6, 7]. Также выражаются сомнения о переносимости результатов анализа на российскую систему образования [8, 9]. Однако при всех недостатках сам перечень факторов в литературе не оспаривается.

1.3. Метод логической инверсии факторов

Необходимо заметить, что в своей работе Дж. Хэтти рассматривает факторы, влияющие на результаты положительно, поэтому в рамках настоящей работы, для того чтобы рассматривать указанные факторы как деструктивные, проведем логическую инверсию: в колонке «Инверсия описания» приведено описание фактора в деструктивном виде. Например, для фактора φ_{15} «Повышение квалификации» инверсией описания будет «Преподаватель не повышает квалификацию» то есть повышение преподавателем своей квалификации будет положительным фактором, а ситуация, когда преподаватель не повышает квалификацию деструктивным фактором.

Таким образом, приведённые в таблице 1 инверсированные факторы можно рассматривать как ключевые деструктивные элементы, влияющие на построение индивидуальной образовательной траектории. Проведённый анализ позволил систематизировать их по степени воздействия, что требует дополнения количественной оценки на основе эффектов Коэна. Это, в свою очередь, позволяет сформулировать микровывод: деструктивные факторы обладают различной значимостью и должны учитываться при адаптации траектории обучения.

Таблица 1. Деструктивные факторы, полученные из инверсии модели Хэтти

№	Фактор	Домен	Обозначение	Значение d	Описание по Хэтти	Инверсия описание
1	Самооценка знаний обучающимся	Обучающийся	φ_1	1,44	Умение учеников критически оценивать свой прогресс и ошибки.	Ученики не оценивают свой прогресс и ошибки.
2	Программа Пиаже	Обучающийся	φ_2	1,28	Применение программы Пиаже	Не применяется программа Пиаже
3	Формирующее оценивание	Учебный процесс	φ_3	0,90	Регулярное проведение контроля знаний и предоставление их результатов	Регулярный контроль и предоставление результатов не проводятся
4	Микрообучение	Преподаватель	φ_4	0,88	Совместное выполнение заданий вместе с небольшой группой учащихся и их последующий разбор	Совместное выполнение заданий с небольшой группой учащихся и их последующий разбор не проводятся
5	Ускорение в обучении	Учебное заведение	φ_5	0,88	Опережающее освоение учебной программы способными учениками	Способные ученики не осваивают учебную программу в опережающем режиме
6	Поведение на занятиях	Учебное заведение	φ_6	0,80	Дисциплина, поведение и эмоциональное состояние участников учебного процесса	Дисциплина, поведение и эмоциональное состояние участников учебного процесса не контролируется

№	Фактор	Домен	Обозначение	Значение d	Описание по Хэтти	Инверсия описание
7	Совместное обучение	Учебный процесс	φ_7	0,77	Совместное обучение учеников с обычными и особыми возможностями	Совместное обучение учеников с обычными и особыми возможностями не осуществляется
8	Ясность	Преподаватель	φ_8	0,75	Ясность изложения материала преподавателем	Материал не понятен обучающимся
9	Взаимообучение	Учебный процесс	φ_9	0,74	Возможность обучающимся задавать вопросы, получаться разъяснения, обобщать и в целом вести диалог с преподавателем	Обучающиеся не имеют возможности задавать вопросы, получаться разъяснения, обобщать и в целом вести диалог с преподавателем
10	Обратная связь	Учебный процесс	φ_{10}	0,73	Конструктивные комментарии преподавателя, направленные на улучшение.	Преподаватель не дает конструктивные комментарии преподавателя, направленные на улучшение.
11	Отношения «учитель-ученик»	Преподаватель	φ_{11}	0,72	Отношения преподавателя к обучающемуся	Отношения «учитель-ученик» не складываются
12	Индивидуальное или групповое обучение	Учебный процесс	φ_{12}	0,71	Баланс индивидуальной и групповой работы, в том числе для получения обратной связи	Индивидуальная и групповая работа не ведутся или не сбалансированы
13	Предыдущие достижения	Обучающийся	φ_{13}	0,67	Предыдущий опыт и достижения обучающегося	Предыдущий опыт и достижения обучающегося не учитываются
14	Самовербализация	Учебный процесс	φ_{14}	0,64	Самоанализ обучающегося	Самоанализ не проводится
15	Повышение квалификации	Преподаватель	φ_{15}	0,62	Повышение квалификации преподавателем	Преподаватель не повышает квалификацию

1.4. Интерпретация факторов через категории ошибок

Обобщая приведённые факторы Хэтти сделал следующие выводы:

- обратная связь является ключевым элементом обучения;
- важна совместная работа;
- важно обучение учащихся «учиться учиться».

Данные выводы можно уточнить на примерах из сферы обучения программированию.

Обратная связь важна, поскольку в программировании ошибки часто носят системный характер (например, неверная логика алгоритма). Немедленная коррекция со стороны преподавателя помогает избежать закрепления неправильных паттернов. Преподаватель, проверяющий код студента, может указать на ошибки в синтаксисе или предложить более эффективный алгоритм.

Важность совместной работы раскрывается на примере таких методик, как парное программирование (pair programming) и групповые проекты повышают вовлеченность и снижают стресс, что особенно важно в сложных дисциплинах, таких как программирование.

Обратная связь и совместная работа обобщаются понятием «контактная работа», которая в свою очередь в той или иной мере входит в факторы $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{14}$. Умение «учиться учиться» входит в объем понятия «Компетенция», которое связано с факторами $\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_9, \varphi_{13}, \varphi_{15}$.

Таким образом с учетом введенной инверсии описания факторов можно утверждать, что недетерминированность достижения обучающимся требуемого уровня профессиональных компетенций обуславливается двумя группами деструктивных факторов:

«Ошибки обучающихся», которая включает факторы $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{14}$, связанные с понятием «контактная работа».

«Ошибки оценки», которая включает факторы $\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_9, \varphi_{13}, \varphi_{15}$, связанные с понятием «компетенция»

Анализ факторов, влияющих на процесс обучения, согласно работе Дж. Хэтти позволяет сделать следующие выводы:

В работе приведен объективный список факторов, который путем логической инверсии позволяет получить список деструктивных факторов, однако факторы классифицированы только по доменам и систематически не связаны с понятиями предметной области обучения.

Зависимость результатов обучения от факторов приведена на основании статистических методов по величине эффекта Коэна, что не позволяет задать аналитическую модель, описывающую зависимость достижения заданного уровня освоения модулей учебных дисциплин в установленные сроки с соблюдением предусмотренных образовательным стандартом требований.

2. Формализация влияния деструктивных факторов на параметры модели ИОТ

Первая группа деструктивных факторов «Ошибки обучающихся» может быть формализована как следующее множество:

$$\Phi_s = \{\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}\} \quad (1)$$

Множество Φ_s связано с понятием «контактная работа». По смыслу контактной работы деструктивные факторы Φ_s влияют на значение коэффициентов β_{1s}, α_{1s} . Такое влияние выражается через значение весов w_{b1s}, w_{a1s} , которые, как было сказано выше, определяют значимость коэффициентов зависимостей β_{1s}, α_{1s} .

Вторая группа деструктивных факторов «Ошибки оценки» может быть формализована как следующее множество:

$$\Phi_l = \{\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_9, \varphi_{15}\} \quad (2)$$

Множество Φ_l связано с понятием «компетенция». По смыслу компетенций деструктивные факторы Φ_l влияют на значение коэффициентов β_{1l}, α_{1l} . Такое влияние выражается через значение весов w_{b1l}, w_{a1l} , которые, как было сказано выше, определяют значимость коэффициентов зависимостей β_{1l}, α_{1l} .

Для вычисления значений весов $w_{b1s}, w_{a1s}, w_{b1l}, w_{a1l}$ необходимо перейти от множеств деструктивных факторов ко множествам величин Коэна для каждой группы деструктивных факторов, которые могут быть описаны как:

$$D_{\Phi_s} = \{d_1, d_3, d_4, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14}\} \quad (3)$$

$$D_{\Phi_l} = \{d_3, d_4, d_5, d_9, d_{15}\} \quad (4)$$

Где:

D_{Φ_s} – множество величин Коэна для факторов Φ_s

D_{Φ_l} – множество величин Коэна для факторов Φ_l

В таблице 2 представлены деструктивные факторы $\varphi_i \in \Phi_s \cap \Phi_l$, величины Коэна d_i , частота вхождения p_i и веса ω_i деструктивных факторов, распределенные по влиянию деструктивных факторов на коэффициенты $\beta_{1s}, \alpha_{1s}, \beta_{1l}, \alpha_{1l}$.

Корреляция коэффициентов иерархической линейной модели и некоторых значимых факторов по Хэтти приведена в таблице 2.

Таблица 2. Распределение деструктивных факторов по весам и коэффициентам зависимости

Деструктивный фактор	Величина Коэна d	Частота вхождения p_i	Коэффициенты зависимости			
			Группа деструктивных факторов «Ошибки обучающихся»		Группа деструктивных факторов «Ошибки оценки»	
			Вес ω_i в коэффициенте β_{1s}	Вес ω_i в коэффициенте α_{1s}	Вес ω_i в коэффициенте β_{1l}	Вес ω_i в коэффициенте α_{1l}
φ_1	1,44	1	4,35%			
φ_3	0,9	2		8,70%		8,70%
φ_4	0,88	2	8,70%		8,70%	
φ_5	0,88	1			4,35%	
φ_8	0,75	1	4,35%			
φ_9	0,74	4	17,39%	17,39%	17,39%	17,39%
φ_{10}	0,73	4	17,39%	17,39%		
φ_{11}	0,72	1	4,35%			
φ_{12}	0,71	1	4,35%			
φ_{13}	0,67	2	8,70%	8,70%		
φ_{14}	0,64	2	8,70%	8,70%		
φ_{15}	0,62	2			8,70%	8,70%

Зависимость коэффициентов $\beta_{1s}, \alpha_{1s}, \beta_{1l}, \alpha_{1l}$ от деструктивных факторов можно описать следующим образом:

$$\Phi_s^{b1s} = \{\varphi_1, \varphi_4, \varphi_8, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{13}, \varphi_{14}\} \quad (5)$$

$$\Phi_s^{a1s} = \{\varphi_3, \varphi_9, \varphi_{10}, \varphi_{13}, \varphi_{14}\} \quad (6)$$

$$\Phi_l^{b1l} = \{\varphi_4, \varphi_5, \varphi_9, \varphi_{15}\} \quad (7)$$

$$\Phi_l^{a1l} = \{\varphi_3, \varphi_9, \varphi_{15}\} \quad (8)$$

Где:

Φ_s^{b1s} – деструктивные факторы ошибок обучающегося в зависимости от времени

Φ_s^{a1s} – деструктивные факторы ошибок обучающегося в зависимости от ошибок

Φ_l^{b1l} – деструктивные факторы ошибок оценки в зависимости от времени

Φ_l^{a1l} – деструктивные факторы ошибок оценки в зависимости от ошибок преподавателя

Таким образом функцию определения частоты вхождения p_i можно представить следующим образом:

$$p_i = \text{count}(\varphi_i, \Phi_s^{b1s}) + \text{count}(\varphi_i, \Phi_s^{a1s}) + \text{count}(\varphi_i, \Phi_l^{b1l}) + \text{count}(\varphi_i, \Phi_l^{a1l}) \quad (9)$$

По данным, содержащимся в таблице 2 также, можно привести соответствующие множества весов для каждого деструктивного фактора.

$$\Omega_s^{b1s} = \{\omega_1, \omega_4, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}, \omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \omega_{14}\} \quad (10)$$

$$\Omega_s^{a1s} = \{\omega_3, \omega_9, \omega_{10}, \omega_{13}, \omega_{14}\} \quad (11)$$

$$\Omega_l^{b1l} = \{\omega_4, \omega_5, \omega_9, \omega_{15}\} \quad (12)$$

$$\Omega_l^{a1l} = \{\omega_3, \omega_9, \omega_{15}\} \quad (13)$$

Где значение ω_i вычисляется по следующей формуле:

$$\omega_i = \frac{p_i}{\sum p_i} \quad (14)$$

Для множеств $\Phi_s^{b1s}, \Phi_s^{a1s}, \Phi_l^{b1l}, \Phi_l^{a1l}$ можно построить соответствующие множество величин Коэна, которые будут иметь следующий вид:

$$D_s^{b1s} = \{d_1, d_4, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14}\} \quad (15)$$

$$D_s^{a1s} = \{d_3, d_9, d_{10}, d_{13}, d_{14}\} \quad (16)$$

$$D_l^{b1l} = \{d_4, d_5, d_9, d_{15}\} \quad (17)$$

$$D_l^{a1l} = \{d_3, d_9, d_{15}\} \quad (18)$$

Где *count* – функция подсчета количества элементов в множестве.

Исходя из этого функции для вычисления весов $w_{b1s}, w_{a1s}, w_{b1l}, w_{a1l}$ можно задать следующим образом:

$$w_{b1s} = \omega_i^{b1s} d_i^{b1s} y_s, \quad \omega_i^{b1s} \in \Omega_s^{b1s}, d_i^{b1s} \in D_s^{b1s} \quad (19)$$

$$w_{a1s} = \omega_i^{a1s} d_i^{a1s} y_s, \quad \omega_i^{a1s} \in \Omega_s^{a1s}, d_i^{a1s} \in D_s^{a1s} \quad (20)$$

$$w_{b1l} = \omega_i^{b1l} d_i^{b1l} y_l, \quad \omega_i^{b1l} \in \Omega_s^{b1l}, d_i^{b1l} \in D_s^{b1l} \quad (21)$$

$$w_{a1l} = \omega_i^{a1l} d_i^{a1l} y_l, \quad \omega_i^{a1l} \in \Omega_s^{a1l}, d_i^{a1l} \in D_s^{a1l} \quad (22)$$

Где:

y_s – коэффициент текущего состояния преподавателя;

y_l – коэффициент текущего состояния обучающегося.

3. Адаптация модели M^A к деструктивным факторам

Таким образом можно сделать вывод, что взаимодействие участников учебного процесса учитывает деструктивные факторы, относящиеся к двум группам - «Ошибки обучающихся» и «Ошибки оценки». Однако, поскольку модель M^A предусматривает взаимодействие в рамках фактической ИОТ Tr , которая состоит из этапов tr_i , то влияние деструктивных факторов на каждом этапе различно и зависит в том числе от текущего состояния преподавателя и обучающегося. Влияние этих состояний учтено в коэффициентах y_s и y_l .

В связи с этим необходимо более подробно рассмотреть динамическое формирование фактической ИОТ, которое является последовательным изменением состояний участников учебного процесса.

На основании предыдущего анализа был сделан вывод, что модель взаимодействия участников учебного процесса, описываемая как кортеж $M^A = \langle A, C', Kb, Tr^0, Tr \rangle$, может использоваться для оптимизации коэффициентов β_{1s} и β_{1l} . Подробное описание компонентов модели M^A , её агентно-ориентированной структуры и принципов работы с большими языковыми моделями представлено в [11, 12]. Данные коэффициенты связаны с группами деструктивных факторов Φ_s^{b1s} и Φ_l^{b1l} , что делает возможным адаптацию модели M^A для учета связей деструктивных факторов с подэтапами методики, приведенных в таблице 3.

Таблица 3. Связи деструктивных факторов Φ_s^{b1s} и Φ_l^{b1l} с подэтапами методики

		Э2-Ф – Формирование плановой ИОТ	Э3-И – Подготовка интеллектуальных агентов	Э4-П – Прохождение ИОТ
Деструктивные факторы	Φ_s^{b1s}	Э2-2-φ ₄ Э2-3-φ ₄	Э3-1-φ ₁₂ Э3-2-φ ₁₂	Э4-2-φ ₁ Э4-2-φ ₄ Э4-2-φ ₉ Э4-2-φ ₁₁ Э4-1-φ ₁₂ Э4-2-φ ₁₃
	Φ_l^{b1l}	Э2-3-φ ₅	Э3-1-φ ₄	Э4-3-φ ₅
Случайные эффекты				Э4-2- u _{1s} Э4-3- u _{1l} Э4-2- u ₂

Анализ таблицы позволяет сделать вывод о том, что пары «деструктивный фактор – подэтап методики» должны учитываться при адаптации отдельных элементов модели M^A . Результаты такого соотнесения приведены в таблице 4.

Таблица 4. Связь деструктивных факторов и ошибок с компонентами модели знаний M^A

Элемент модели M^A	Группы деструктивных факторов	
	Φ_s^{b1s}	Φ_1^{b11}
A - множество участников учебного процесса	Э3-1- φ_{12} Э3-2- φ_{12}	Э3-1- φ_4
Tr^0 - множество этапов эталонной траектории обучения	Э2-2- φ_4 Э2-3- φ_4	Э2-3- φ_5
Tr - множество этапов фактической траектории обучения	Э4-2- φ_1 Э4-2- φ_4 Э4-2- φ_9 Э4-2- φ_{11} Э4-1- φ_{12} Э4-2- φ_{13}	Э4-3- φ_5

3.1. Адаптация агентов-участников учебного процесса

Для адаптации агентов-участников учебного процесса при выборе состава агентов (Э3-1) и определении программной реализации агентов (Э3-2) в условиях действия деструктивного фактора φ_{12} «Индивидуальное или групповое обучение» необходимо определить состав агентов на основе БЯМ из множества A^{LL} . Выше было показано, что использование нескольких БЯМ-агентов положительно влияет на качество ответов, в связи с этим в множестве A^{LL} предусмотрен агента-практик a_i^{LP} , который может имитировать совместное обучение и, вместе с агентом-преподавателем a_r^{ll} давать обратную связь, что положительно влияет на минимизацию фактора φ_{12} .

Адаптация модели M^A к фактору φ_4 «Микрообучение» при выборе состава агентов (Э3-1), формировании основных и альтернативах сценариев ИОТ (Э2-2, Э2-3) и прохождении ИОТ (Э4-2) обуславливает наличие агента-преподавателя a_r^{ll} , который может выполнять задания и производить их разбор вместе с обучающимся в условиях, когда временные затраты на это ограничены временем самостоятельной работы студента t^{CPC} и могут быть дополнены частью времени контактной работы $t^{Конт}$. В то же время преподаватель-человек имеет может уделить каждому обучающемуся только время, описанное соотношением $\frac{t^{Конт}}{count_s}$, где $count_s$ – количество студентов в группе обучающихся. В общем случае справедливо неравенство:

$$t^{CPC} \gg \frac{t^{Конт}}{count_s} \quad (23)$$

В связи с этим можно сделать вывод, что применение нескольких БЯМ-агентов существенно минимизирует влияние фактора φ_{12} . Вместе с тем агенты должны применяться в обязательной связке с агентами-верификаторами, например, агентом a_i^{JO} , способным выполнить и проверить на соответствие тестовым примерам, программный код, предлагаемый другими агентами обучающемуся.

3.2. Снижение влияния факторов за счёт сценарного планирования ИОТ

При планировании траектории обучения Tr^0 (Э2-3) модель M^A с помощью возможности задания альтернативных сценариев прохождения позволяет снизить влияние деструктивного фактора φ_5 «Ускорение в обучении» в связи с тем, что при корректировке ИОТ (Э4-3) на каждом этапе tr_i оценивается уровень достижения заданного уровня освоения модулей учебных дисциплин и решение о выборе следующего этапа принимается исходя неравенства:

$$|\sum R_{ei}^{min} - r_i^2| \leq |\sum R_{ei}^{max} - r_i^2| \quad (24)$$

Где:

r_i^2 – значение уровня освоения на текущем этапе ИОТ;

r_{i-1}^2 – значение уровня освоения на предыдущем этапе ИОТ;

R_{ei}^{min} – минимальный уровень освоения на предыдущих $i - 1$ этапах эталонной ИОТ Tr^0

R_{ei}^{max} – максимальный уровень освоения на предыдущих $i - 1$ этапах эталонной ИОТ Tr^0
И неравенства:

$$\sum T_i + \sum T_i^l \leq \sum T_{ei}^{регл} \quad (25)$$

Где:

$T_{ei}^{регл}$ – установленные сроки освоения учебных модулей на предыдущих $i - 1$ этапах эталонной ИОТ Tr^0 .

Подсчет времени осуществляется по следующим формулам:

$$T_i = t^{CPC} + t^{Конт} \quad (26)$$

$$T_i^l = t^{Испр} + t^{Доп} \quad (27)$$

Где:

t^{CPC} – время самостоятельно работы студента

$t^{Конт}$ – время контактной работы студента и преподавателя

$t^{Испр}$ – время, затрачиваемое на исправление ошибок

$t^{Доп}$ – дополнительное время на прохождение этапа ИОТ

Выбор альтернативных сценариев прохождения зависит не только от достижения минимального уровня, но и от того, за какое время он достигнут. Для обучающегося, быстро достигающего результатов, будет предложена такая траектория, которая позволит получить углубленные знания с соблюдением установленного срока.

Прохождение фактической ИОТ Tr (Э4-1, Э4-2) связано с несколькими деструктивными факторами φ_1 «Самооценка знаний обучающимся», φ_9 «Взаимообучение», φ_{11} «Отношения «учитель-ученик»», φ_{13} «Предыдущие достижения».

В модели M^A влияние факторов φ_1, φ_{13} учитывается в функции оценки $ctrl(e_j, z_i, k_i)$, поскольку расчет текущего уровня освоения R производится с учетом суммы оценок за пройденные этапы tr_i , при этом оценка осуществляется с помощью форм контроля k_i , которые позволяют обучающемуся самостоятельно оценить свой уровень.

Учет факторов φ_9 и φ_{13} при прохождении ИОТ также связан с функцией оценки $ctrl(e_j, z_i, k_i)$. Алгоритм функции предусматривает, что результат вычисления $f(input) = output$ для теста $test_i$ с возможными оценками $\{1, \dots, N\}$ будет передан агентом-модератором a_0^M агенту-преподавателю a_7^L для обсуждения результатов задачи. Необходимо заметить, что снижение влияния этих деструктивных факторов также достигается за счет того, что время самостоятельно работы обучающегося t^{CPC} превращается в более эффективное время контактной-работы $t^{Конт}$.

3.3. Агентно-ориентированная модель взаимодействия и знаний в ИОТ

Для формализации адаптивного сопровождения индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) в условиях деструктивных факторов предлагается агентно-ориентированная модель M^A , описывающая структуру участников, учебных материалов и траекторий обучения, а также модель представления знаний M^B , реализуемая на основе БЯМ и графов знаний.

Модель M^A представляется в виде кортежа:

$$M^A = \langle A, C', Kb, Tr^0, Tr \rangle \quad (28)$$

Где:

A – множество участников учебного процесса.

C' – множество дисциплин, которые доступны для прохождения, $C' \subseteq C$.

Kb – множество баз знаний агентов.

Tr^0 – множество этапов эталонной траектории обучения.

Tr – множество этапов фактической траектории обучения.

Множество агентов A включает:

- A^H – агентов-людей (преподаватели A^{HT} , обучающиеся A^{HS});
- A^{LL} – агентов на основе БЯМ (преподаватели a_i^{LT} , практики a_i^{LP} , инспекторы a_i^{LV});
- A^J – верификаторов (проверка кода, тестов);
- $A^M = \{a_0^M\}$ – модератор, управляющий диалогом.

Каждый агент БЯМ описывается как:

$$a_i^t = \langle \text{context}, \text{model} \rangle \quad (29)$$

$$\text{context} = \langle \text{context}^{\text{personal}}, \text{context}^{\text{competence}} \rangle$$

Контексты содержат текстовые утверждения, определяющие поведение и знания агента, формируемые из базы знаний и предварительных инструкций. Это позволяет задавать роль (например, «Ты — строгий преподаватель-программист») и актуализировать знания по конкретным дисциплинам.

Дисциплины представлены множеством:

$$C' = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \quad (30)$$

$$c_i = \langle \text{context}^{\text{course}}, E_{c_i} \rangle \quad (31)$$

где E_{c_i} – набор учебных материалов, включающих теорию, задания, тесты и подсказки:

$$e_i = \langle \text{THEORY}, \text{TASK}, \text{TEST}, \text{PROMPT} \rangle \quad (32)$$

Фактическая траектория обучения представляется множеством:

$$Tr = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_m\} \quad (33)$$

$$tr_i = \langle a_j^{HS}, t, D, \rangle \quad (34)$$

где D – диалоги между агентами, сопровождающие прохождение учебного материала, и результаты освоения:

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\} \quad (35)$$

$$d_i = \langle e_j^c, A^d, Me, Re \rangle \quad (36)$$

Прохождение траектории tr_i считается успешным, если значение функции оценки уровня освоения $ctrl_e$ больше или равно заданному R_e^{min} . По результатам прохождения корректируется $\text{context}^{\text{course}}$.

Корректировка ИОТ осуществляется на основе оценки соответствия и достижений, с участием нескольких агентов (человек + БЯМ) и верификаторов.

4. Модель представления знаний интеллектуальных агентов

Контактная работа подразумевает непосредственный контакт с преподавателем. В настоящее время БЯМ-агенты не могут полностью заменить преподавателя, но могут помочь с некоторыми рутинными операциями как, например, разбор и повторение простейших алгоритмических задач из курса программирования. Однако, для этого агенты должны обладать знаниями. В рамках настоящей работы описан подход, когда знания агентов представляются с помощью модели M^B .

Рассмотрим архитектуру модели представления знаний агентов, которая реализует эти функции в рамках контактной и самостоятельной работы.

4.1. Архитектура модели представления знаний M^B

Модель представления знаний агентов на основе больших языковых моделей описывается как $M^B = \langle S, G, Kb^B, F \rangle$ и может быть использована для оптимизации коэффициентов α_{1s} , α_{1l} . Данные коэффициенты связаны с группами деструктивных факторов Φ_s^{a1s} и Φ_l^{a1l} и ошибками e_i^s и e_i^l , что делает возможным адаптацию модели M^B для учета связей деструктивных факторов с подэтапами методики, приведенных в таблице 5. Концептуальные положения модели M^B , включая структуру графа знаний и интеграцию с онтологиями и базами знаний, подробно рассмотрены в работах [13–16].

Таблица 5. Связи деструктивных факторов Φ_s^{a1s} и Φ_l^{a1l} с подэтапами методики

		Э1-Д - Подготовк а исходных данных	Э2-Ф - Формирова ние плановой ИОТ	Э3-И - Подготовка интеллектуальны х агентов	Э4-П - Прохождени е ИОТ	Э5-А - Анализ результатов прохождени я ИОТ
Деструктивные факторы	Φ_s^{a1s}		Э2-3- φ_{10}	Э3-2- φ_3	Э4-2- φ_3 Э4-3- φ_3 Э4-2- φ_{14}	Э5-1- φ_3
	Φ_l^{a1l}	Э1-2- φ_8	Э2-Ф- φ_8	Э3-3- φ_8 Э3-1- φ_{15} Э3-3- φ_{15}	Э4-2- φ_8	Э5-2- φ_{15}
Ошибки					Э4-2- e_i^s Э4-3- e_i^l	
Случайные эффекты					Э4-2- u_{15} Э4-3- u_{11} Э4-2- u_2	

Анализ таблицы позволяет сделать вывод о том, что пары «деструктивный фактор – подэтап методики» и «ошибка-подэтап методики» должны учитываться при адаптации отдельных элементов модели M^B . Результаты такого соотнесения приведены в таблица б.

Таблица 6. Связь деструктивных факторов и ошибок с компонентами модели знаний M^B

Элемент модели M^A	Группы деструктивных факторов		Ошибки
	Φ_s^{a1s}	Φ_l^{a1l}	
S – множество моделей компетенций, соответствующих дисциплинам c_i	Э4-2- φ_3 Э4-3- φ_3 Э2-3- φ_{10}		
G – граф знаний, дополняемый из моделей компетенций s_i и состоящий из подграфов g_i , соответствующих моделям компетенций		Э3-1- φ_{15} Э3-3- φ_{15} Э5-2- φ_{15}	Э4-3- e_i^l
Kb^B – база знаний	Э3-2- φ_3 Э5-1- φ_3	Э1-2- φ_8 Э2-2- φ_8 Э2-3- φ_8 Э3-3- φ_8 Э4-2- φ_8	Э4-2- e_i^s Э4-3- e_i^l

4.2. Учет факторов в структуре базы знаний и компетенций

При прохождении этапов ИОТ и оперативной корректировке сценариев (Э4-2, Э4-3) влияние факторов φ_3 «Формирующее оценивание» и φ_{10} «Обратная связь» учитывается функцией оценки $ctrl(e_j, z_i, k_i)$, алгоритм которой предусматривает обсуждение результатов с агентом-преподавателем a_r^l . При этом база знаний kb_i агента-преподавателя a_r^l должна содержать связи с вершинами графа знаний G , полученными с помощью функции $convert^g(s_i)$ из модели компетенций s_i . Это позволяет интеллектуальному агенту определять, соответствует ли текущий уровень освоения программы уровнем, предусмотренным образовательным стандартом.

При выборе состава агентов и формировании их компетенций (Э3-1, Э3-3) влияние деструктивного фактора φ_{15} «Повышение квалификации» учитывается с помощью применения к учебно-методическим материалам e_i функции to_kb , которая устанавливает отношения между отношений R^k , установленных между элементами Kb^A, G и Kb^O , где Kb^A – специализированная база знаний, содержащая знания в сфере обучения программированию, Kb^O – база знаний общего назначения DBpedia. Повышение квалификации агента обеспечивается тем, что на строго формализованному, созданному на основе моделей компетенций графу знаний G , сопоставляются постоянно обновляющиеся знания общего характера Kb^O и также обновляющиеся специализированные знания Kb^A .

Описанное обновление знаний требует существенно меньших временных затрат по сравнению с повышением квалификации человека. В условиях активного развития сферы программирования, когда версии языков и пакетов инструментов обновляются практически ежегодно, наличие интеллектуальных агентов, знающих особенности конкретных инструментов, может быть существенным подспорьем для преподавателя и оставлять время для повышения квалификации в части фундаментальных знаний.

При этом использование графа знаний G позволяет снизить вероятность ошибок, допускаемых преподавателем при определении уровня компетенций ученика e_i^1 при оперативной корректировке ИОТ. Во второй главе было показано, что снижение количества ошибок достигается путем использования в функции *search* модифицированного алгоритма Graph RAG [10].

Переходя к факторам и подэтапам методики, связанным с базой знаний Kb^B , необходимо заметить, что качество базы знаний и возможности ее использования агентом являются ключевой характеристикой предлагаемой методологии.

Определение средств программной реализации агентов (ЭЗ-2) связано с фактором φ_3 «Формирующее оценивание», при этом программная реализация агента должна удовлетворять требованиям, описанным в алгоритме работы функцией оценки $ctrl(e_j, z_i, k_i)$. Из этого следует, что определение результатов прохождения ИОТ (Э5-1) также тесно связано с функцией оценивания, поскольку итоговая оценка зависит от суммы значений функции *ctrl* для каждого этапа tr_i .

База знаний Kb^B включает сегмент Kb^A , который формируется на основе дисциплин c_i путем применения функции *to_kb* к учебно-методическим материалам $e_i \in E_{c_i}$. Поэтому при определении параметров ИЭОС (Э1-2), включающем указание дисциплин, формировании основных и альтернативных сценариев ИОТ (Э2-2, Э2-3), формировании компетенций агентов (Э3-3) и прохождении ИОТ (Э4-2) важным является влияние фактора φ_8 «Ясность». Попадание в сегмент Kb^A запутанного, нелогичного и плохо структурированного материала может снизить качество базы знаний. Однако алгоритм функции *to_kb* предусматривает проверку извлекаемых из e_i знаний по графу знаний G и базе знаний общего назначения Kb^0 , что обеспечивает качество формирования сегмента Kb^A .

4.3. Влияние структуры базы знаний на снижение ошибок

Использование базы знаний Kb^B в целом снижает как количество ошибок студента e_i^S , так и количество ошибок преподавателя $3-e_i^1$, что обусловлено следующим:

- Агент-преподаватель a_r^l при обработке входящих сообщений применяет функцию *search*, которая обращается для проверки информации к базе знаний Kb . Это позволяет интеллектуальному агенту в режиме реального времени дать рекомендации обучающемуся.
- Функция *gen*, которая генерирует ответы агента-преподавателя a_r^l , использует промпты, созданные функцией *aug*, обращающейся к базе знаний Kb для уточнения контекста.

5. Заключение

В работе предложен подход к систематизации деструктивных факторов, влияющих на результативность электронного обучения, на основе логической инверсии факторов из мета-анализа Дж. Хэтти. Выделены две ключевые группы: ошибки обучающихся и ошибки оценки, для которых сформирована модель влияния на индивидуальную образовательную траекторию (ИОТ) с использованием значений эффекта Коэна.

Разработаны множества факторов и соответствующих им весов, обеспечивающих количественный учёт влияния на параметры ИОТ. Проведено сопоставление факторов с подэтапами методики, что позволило адаптировать модель взаимодействия участников обучения (M^A).

Также представлена модель знаний (M^B), интегрирующая граф знаний и базы данных для поддержки работы интеллектуальных агентов в условиях нестабильности и ошибок. Полученные результаты подтверждают применимость инверсии факторов Хэтти и потенциал БЯМ-агентов для повышения адаптивности цифровых образовательных сред.

Литература

1. Гнедых Д.С. Эффективность усвоения учебной информации студентами в условиях электронного обучения: специальность 19.00.07 "Педагогическая психология": диссертация на соискание ученой степени кандидата психологических наук / Д. С. Гнедых. – Санкт-Петербург, 2015. – 237 с.

2. *Ермаков С.С.* Современные технологии электронного обучения: анализ влияния методов геймификации на вовлеченность учащихся в образовательный процесс / С. С. Ермаков // Современная зарубежная психология. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 47–58. – DOI 10.17759/jmfp.2020090304.
3. *Бикмухаметов И.Х., Колганов Е.А., Шайхисламов Р.Б., Сагманова Н.Р.* Факторы обеспечения качества электронного обучения в вузе // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2012. – № 11(47). – С. 62.
4. *Hattie J.* Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement. London: Routledge, 2008.
5. *Hattie J., Yates G.* Visible Learning and the Science of How We Learn. London: Routledge, 2013.
6. *Snook I., O'Neill J., Clark J., O'Neill A.-M., Openshaw R.* Invisible Learnings? A Commentary on John Hattie's Visible Learning // Educational Philosophy and Theory. – 2009. – Vol. 41, № 5. – P. 555–563. – DOI: 10.1111/j.1469-5812.2009.00575.x.
7. *Biesta G.* Good Education in an Age of Measurement: Ethics, Politics, Democracy. Boulder (CO): Paradigm Publishers, 2010. – 160 p.
8. *Борисенко Н.А.* «Барометр влияния», или Какие факторы оказывают наибольшее воздействие на обучение. Рецензия на книгу: Джон Хэтти «Видимое обучение» // Вопросы образования. – 2018. – № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/barometr-vliyaniya-ili-kakie-factory-okazyvayut-naibolshee-vozdeystvie-na-obuchenie-retsenziya-na-knigu-dzhon-hetti-vidimoe-obuchenie> (дата обращения: 03.05.2025).
9. *Поздеева С.И.* Рецензия на книгу "Видимое обучение: синтез результатов более 50 000 исследований с охватом более 86 миллионов школьников" / Джон А.С. Хэтти; под ред. В.К. Загвоздкина, Е.А. Хармаевой. – М.: Национальное образование, 2017. – 496 с. (Антология образования) // Вестник ТГПУ. – 2020. – № 1 (207). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/retsenziya-na-knigu-vidimoe-obuchenie-sintez-rezultatov-bolee-50-000-issledovaniy-s-ohvatom-bolee-86-millionov-shkolnikov-dzhon-a-s-hetti-pod> (дата обращения: 03.05.2025).
10. *Edge D., Trinh H., Cheng N., Bradley J., Chao A., Mody A., Truitt S., Metropolitan D., Ness R. O., Larson J.* From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization [Электронный ресурс] // arXiv. – 2025. – № 2404.16130. – URL: <https://arxiv.org/abs/2404.16130>.
11. *Тимофеев А.Н.* Агентноориентированные модели и методы формирования адаптивных программных комплексов дистанционного обучения программированию на основе больших языковых моделей // Национальная научно-практическая конференция «Образование и наука», г. Улан-Удэ, 2025.
12. *Тимофеев А.Н.* Многоагентная система обучения программированию на основе больших языковых моделей: программа для ЭВМ. – Свидетельство о государственной регистрации № 2025610558 от 13.01.2025.
13. *Тимофеев А.Н.* Разработка модели компетенций в сфере информационных технологий на основе интеграции онтологий и баз знаний // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды Шестнадцатой международной конференции, 26–28 сентября 2023 г., Москва / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна; ИПУ РАН. – М.: ИПУ РАН, 2023. – С. 1441–1445. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59824379>.
14. *Timofeev A.* Development of a competence model in the field of information technology using ontologies and knowledge bases // 2023 International Conference on Control in Technical Systems (CTS). IEEE, 2023. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/CTS57876.2023.10303922. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10303922>.
15. *Timofeev A.N.* Development of a competence model in the field of information technology using ontologies and knowledge bases // ResearchGate. – 2023. – URL: https://www.researchgate.net/publication/375325699_Development_of_a_Competence_Model_in_the_Field_of_Information_Technology_Using_Ontologies_and_Knowledge_Bases.
16. *Тимофеев А.Н.* Модель представления знаний для агентов в интеллектуальных образовательных системах // Научный журнал «Образование и информационные технологии». – 2024. – № 1. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54272645>.