

УДК 519.87

Е.Б. Грибанова, Д.В. Леонов

Разработка моделей условной оптимизации с использованием экспертных оценок

Исследованы возможности генеративного текстового искусственного интеллекта по определению весовых коэффициентов относительной важности признаков на основе модели рандомизации. Впервые выполнена модификация моделей условной оптимизации с целью учёта весовых коэффициентов относительной важности.

Ключевые слова: текстовый генеративный искусственный интеллект, весовые коэффициенты, оптимизационная модель, условная оптимизация, ChatGPT.

DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-3-100-108

Актуальность направления исследования определяется востребованностью оптимизационных методов в различных областях: технике, медицине, образовании и т.д. В прикладной экономике решение оптимизационных задач позволяет осуществить оптимальное распределение ресурсов, прогнозирование, классификацию объектов, оценку их эффективности и т.д. Применение оптимизационных методов способствует повышению качества управленческих решений, от которых зависит эффективность функционирования социально-экономической системы. В условиях неопределенности, изменчивости и сложности современного мира возникает необходимость использования суждений экспертов, основанных на знаниях, интуиции и практическом опыте. Эти оценки могут принимать различные формы, включая количественные прогнозы, качественные анализы и рекомендации. Весовые коэффициенты определяют относительную важность каждого из факторов в процессе оценки. В частности, они используются для формирования интегральных показателей, прогнозов, решения обратных задач и т.д. Для оценки весовых коэффициентов, как правило, привлекается группа экспертов. При этом возникает ряд проблем:

- 1) субъективность оценки эксперта;
- 2) трудность проверки достоверности оценок, отсутствие их обоснования в публикациях;
- 3) сложность поиска и привлечения экспертов в исследуемой области;
- 4) использование нерепрезентативной выборки для исследования;
- 5) трудоемкость процесса экспертизы, расстановки отношений признаков, возможность ошибок, особенно при большом числе исследуемых признаков.

В данной статье исследуется возможность решения обозначенных проблем с помощью текстового генеративного искусственного интеллекта и метода стохастического доминирования, в частности, метода рандомизации весовых коэффициентов [1].

Метод рандомизации весовых коэффициентов

Наиболее распространенным методом оценки весовых коэффициентов относительной важности является метод анализа иерархий, согласно которому эксперты проводят парные сравнения критериев. На основании сравнений вычисляются весовые коэффи-

циенты, которые в дальнейшем чаще всего используются для формирования интегрального показателя с применением аддитивной свертки. Однако в статье [2] показано, что решение, полученное с помощью метода анализа иерархий, является лишь частным случаем всех возможных решений и может отличаться математическим ожиданием.

Таким образом, методы, основанные на однозначном выборе весовых коэффициентов, подвергаются критике [3]: при отсутствии обоснований необходимости использования однозначного выбора весовых коэффициентов для решения задачи предпочтительным и более естественным является упорядочивание признаков по степени их влияния на основе модели рандомизации коэффициентов [1]. Полученные данные считаются более достоверными, устойчивыми и могут быть представлены в виде системы неравенств, которые должны быть выполнены с вероятностью, равной единице [1]:

$$p_i \geq p_j, \quad \forall i \neq j.$$

На коэффициенты накладываются следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1, p_i \geq 0, i = \overline{1, m}.$$

Весовые коэффициенты могут принимать значения из следующего набора:

$$p_i \in \left\{ 0, \frac{1}{N}, \dots, \frac{N-1}{N}, 1 \right\},$$

где N – заданное целое число, которое определяет точность оценки весов.

В случае если все показатели являются ключевыми и не допускаются нулевые значения весовых коэффициентов, их минимальное значение устанавливается равным $\frac{1}{N}$.

В таком случае число L всех возможных векторов весовых коэффициентов конечно. При линейной свертке и отсутствии иерархии показателей имеет место равномерное распределение, где каждый набор весов принимается с вероятностью $\frac{1}{L}$. При таком подходе веса являются случайной величиной.

В [3] говорится о том, что допустимым является любой набор рандомизированных значений.

В [1] был предложен алгоритм, согласно которому определяются все возможные комбинации, соответствующие установленным ограничениям, и вычисляется математическое ожидание для каждого из весов.

Текстовая модель генеративного искусственного интеллекта ChatGPT

В 2022 г. была представлена языковая модель искусственного интеллекта ChatGPT, предоставляющая сгенерированные диалоговые ответы на вопросы. Модель обучается с использованием алгоритмов обучения с подкреплением и участием человека. Внутреннее число параметров, превышающее 1,7 трлн [4], позволяет эффективно обрабатывать и анализировать сложные данные. ChatGPT была названа прорывом из-за высоких результатов, получаемых с её помощью. Некоторые авторы отмечают потенциальные риски применения ChatGPT, которые в первую очередь связаны с возможной безработицей и снижением уровня самостоятельности работ в образовании [5]. Также ожидается, что в будущем появятся более совершенные модели [6], что сделает ChatGPT таким же привычным средством для решения задач, как и Excel [7].

В связи с этим наблюдается большой интерес к практическому применению таких моделей и раскрытию их потенциала в различных областях.

Так, было установлено, что ChatGPT способна успешно пройти экзамен на юридическую аккредитацию в США [8]. Gautier Marti [9] подготовил достаточно полное руководство по количественной торговле, основанное почти исключительно на результатах, полученных с помощью ChatGPT. Также были опубликованы результаты в части составления рациона питания для аллергиков с помощью ChatGPT [10], что вызвало интерес и последующее обсуждение [11]. При этом некоторые авторы исследований даже включают ChatGPT в соавторы научных статей [12].

В последнее время стали появляться работы, посвященные применению ChatGPT в области экономики и управления. Рассмотрим некоторые из них.

В статье [13] приводится возможность создания работа-консультанта на основе ChatGPT. Указывается, что в тесте по финансовой грамотности он набрал 99% баллов. В работе [14] также говорится о том, что ChatGPT можно эффективно использовать в качестве финансового консультанта, а методы, основанные на генеративном искусственном интеллекте, могут быть использованы для эффективного анализа и обобщения инвестиционной информации.

Работа [8] посвящена изучению применения ChatGPT в научных экономических исследованиях, включая генерацию идей, обзор литературы, подготовку данных и тестирование результатов. Наилучшие результаты модель показала в части генерирования идеи и подготовки данных.

В исследовании [15] говорится о многообещающих возможностях ChatGPT для улучшения существующих финансовых приложений, в том числе с

помощью анализа настроений. Модель может более эффективно анализировать огромные объемы неструктурированных данных, такие как новостные статьи и заголовки, в то время как у инвестора может возникать сложность с анализом взаимосвязей на рынке вследствие перегруженности информацией. Это может помочь в принятии решений по разработке инвестиционных стратегий, управлению рисками и оптимизации инвестиционного портфеля. Кроме того, ChatGPT способна обосновывать результаты доступным языком, вследствие чего может быть использован как опытными, так и начинающими инвесторами.

В исследовании [16] утверждается, что ChatGPT способна успешно выявлять акции, которые принесут наибольшую прибыль в течение следующего месяца. Авторы связывают это со способностью оценивать новостную информацию и своевременной корректировкой рейтингов моделью.

В работе [17] отмечена эффективность ChatGPT в выборе классов активов для инвестирования в различных экономических условиях, в том числе за счет способности выявлять макроэкономические взаимосвязи между экономикой и финансовыми рынками.

Статья [18] посвящена исследованию способности ChatGPT осуществлять диверсификацию и выбирать активы из разных классов для построения портфеля. Отмечается, что модель обладает потенциалом для изучения аспектов рынка, которые могут оказаться сложными для понимания обычными инвесторами, что делает её ценным инструментом для управления портфелями. Согласно полученным результатам, ChatGPT демонстрирует статистически значимое улучшение индекса разнообразия по сравнению со случайной выборкой.

Все эти исследования свидетельствуют о том, что ChatGPT может улучшить эффективность принятия решений и выступать в качестве источника экспертной информации. В этой связи возникает потребность модификации существующего математического аппарата и исследования возможностей применения ChatGPT.

Для выполнения работы были выбраны следующие версии ChatGPT:

- ChatGPT-4o. Считается, что данная версия лучше всего подходит для решения общих задач;
- ChatGPT-o1. Предназначена для решения более сложных, узкоспециализированных и математических задач.

Российскими аналогами ChatGPT являются GigaChat, выпущенная в 2023 г. Сбербанком, и YandexGPT, разработанная компанией Яндекс. Данные модели также будут рассмотрены для решения задачи формирования весовых коэффициентов.

Применение текстовых генеративных моделей для формирования весовых коэффициентов относительной важности

Для исследования возможностей модели в части формирования весовых коэффициентов был использован следующий подход:

1. Поиск статей, в которых приводятся результаты экспертной оценки показателей.

2. Генерирование коэффициентов с помощью текстовых моделей.

3. Проверка соответствия сгенерированных коэффициентов представленным в литературе на основе модели рандомизации показателей.

Для сравнения весовых коэффициентов был использован следующий алгоритм:

Шаг 1. Преобразовать весовые коэффициенты (баллы), представленные в литературных источниках, в положительные весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_{i=1}^m p_i = 1$.

$$p_i = \frac{l_i}{\sum_{i=1}^m l_i},$$

где l_i – положительные весовые коэффициенты или баллы, представленные в литературе.

Шаг 2. Определить систему неравенств.

Сформировать линейную упорядоченную по убыванию последовательность весовых коэффициентов p_i . Задать уровень ошибки ϵ .

Для всех $i > j$, $i, j = 1 \dots m$:

Если $|p_i - p_j| \geq \epsilon$, то в систему неравенств включить $p_j > p_i$.

Шаг 3. Получить весовые коэффициенты p_i^* с помощью текстовой модели.

Шаг 4. Осуществить проверку соответствия полученным на шаге 2 неравенствам весовых коэффициентов p_i^* . Вычислить долю отклонений по формуле

$$d = \frac{N'}{N},$$

где d – доля отклонений; N' – число несоответствий коэффициентов неравенствам; N – общее число неравенств.

В табл. 1 представлены численные значения весовых коэффициентов из статьи [19], для получения которых были привлечены 10 экспертов в области организации строительства.

Выполним проверку соответствия весовых коэффициентов ChatGPT неравенствам $0,5 > 0,3$; $0,5 > 0,2$; $0,3 > 0,2$. Поскольку все неравенства выполняются, то $N' = 0$, следовательно, доля отклонений равна нулю.

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов для оценки квалификации строительных рабочих

Критерий оценки квалификации	Весовой коэффициент по оценке экспертов	Весовой коэффициент ChatGPT-4o
Практические и теоретические знания	0,45	0,5
Стаж работы	0,35	0,3
Образование	0,2	0,2

Таким образом, упорядоченная последовательность коэффициентов: $p_1 = 0,45$; $p_2 = 0,35$; $p_3 = 0,2$.

С уровнем ошибки 0,05 будут сформированы неравенства $p_1 > p_2$; $p_1 > p_3$; $p_2 > p_3$.

Для получения оценок весовых коэффициентов с помощью ChatGPT-4o был использован следующий промпт: «Для оценки квалификации монтажника 2-го разряда используются следующие критерии: практические и теоретические знания, стаж работы, образование. Поставь цифровое значение от 0 до 1 каждому из трех критериев в зависимости от его влияния на оценку квалификации монтажника 2-го разряда. Сумма критериев должна быть равна 1».

Результаты приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены сведения об используемых тестовых наборах весовых коэффициентах. В табл. 3, 4 представлены доли отклонений экспертных оценок, полученных с помощью ChatGPT-o1 и GigaChat. Прочерком отмечены случаи, когда при данном уровне ошибки ни одно неравенство сформировано не будет.

Таблица 2

Описание тестовых наборов

Номер тестового набора	Признаки	Число весовых коэффициентов
1	Структурно-функциональные компоненты потенциально ненадежных действий летчика [20]	4
2	Показатели веб-сайтов [21]	6
3	Туристская привлекательность объектов сельского туризма [22]	3
4	Критерии компетентности экспертов [23]	5
5	Формы обслуживания потребителей [24]	4

Таблица 3

Доли отклонений при использовании ChatGPT-o1

Номер тестового набора	Доля отклонений			
	Уровень ошибки 0,01	Уровень ошибки 0,05	Уровень ошибки 0,1	Уровень ошибки 0,15
1	0	0	0	0
2	0,11	–	–	–
3	0,33	0,33	0	0
4	0,11	0	–	–
5	0	0	0	0

Таблица 4

Доли отклонений при использовании GigaChat

Номер тестового набора	Доля отклонений			
	Уровень ошибки 0,01	Уровень ошибки 0,05	Уровень ошибки 0,1	Уровень ошибки 0,15
1	0	0	0	0
2	0,11	–	–	–
3	0,67	0,67	0,5	0,5
4	0,56	0,5	–	–
5	0,17	0,17	0,2	0,25

На рис. 1 представлена средняя доля отклонений для каждой модели.

На рис. 2 показана гистограмма дисперсии средней доли отклонений для первого тестового набора данных при 10 переформулированиях запроса, который был представлен как в более краткой форме, так и в более подробной.

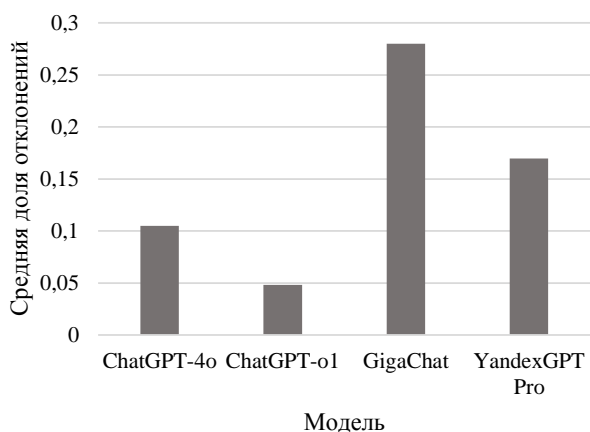


Рис. 1. Средняя доля отклонений

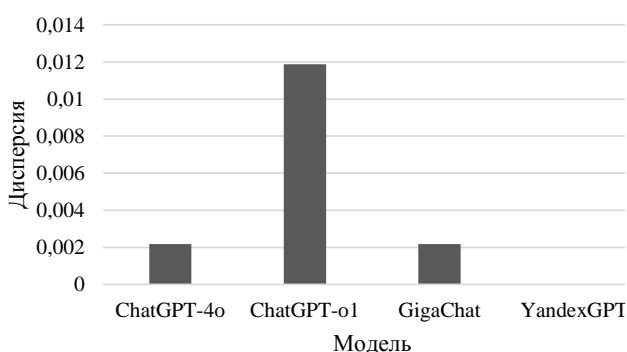


Рис. 2. Дисперсия средней доли отклонений

Кроме того, для моделей ChatGPT было рассмотрено формулирование запроса на английском языке. Согласно результатам, представленным на рис. 3, промпт на английском языке обеспечил меньшее значение средней доли отклонений.

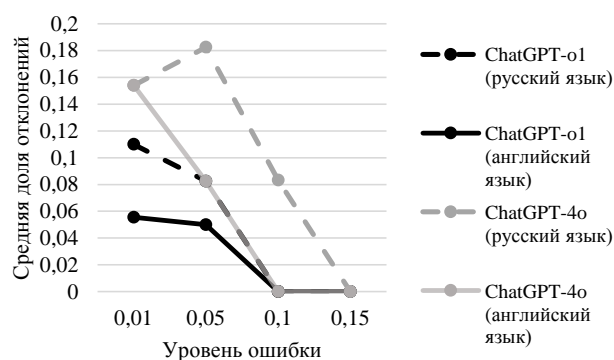


Рис. 3. Средняя доля отклонений при изменении языка запроса

Стоит отметить, что модели успешно справляются с ранжированием признаков со значительным отличием степени важности, однако могут генерировать разные значения для схожих по значимости признаков. Например, в [20] в качестве критериев оценки потенциальной ненадёжности действий летчика рассматриваются:

- профессиональное здоровье (вес 0,25);
- профессиональная подготовка (вес 0,4);
- условия жизни (вес 0,13);
- условия профессиональной деятельности (вес 0,22).

В некоторых экспериментах весовому коэффициенту профессионального здоровья было присвоено моделью более высокое значение, чем профессиональной подготовке, а условиям жизни – чем условиям деятельности, но во всех экспериментах профессиональное здоровье и профессиональная подготовка имели более высокое значение весового коэффициента по сравнению с условиями профессиональной деятельности и условиями жизни.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

По доле отклонений наилучшие результаты показала ChatGPT-o1, однако данная модель оказалась наиболее чувствительной к формату запроса и переформулированиям, что привело в итоге к самой большой дисперсии доли отклонений. Стоит также отметить, что указание контекста в ряде случаев приводит к уменьшению доли отклонений.

Так, все модели при оценке туристской привлекательности объектов сельского туризма указали, что эстетическая привлекательность является более важным показателем по сравнению с рекреационной привлекательностью. В то время как эксперты, привлекаемые к исследованию [22], посчитали рекреационную привлекательность более важной. Если к промпту добавить пояснение «Ты – человек, любящий активный отдых.», то рекреационная привлекательность будет отнесена к наиболее важному критерию и доля отклонений при использовании ChatGPT-o1 будет равна нулю.

Модели показали хорошие результаты в части ранжирования признаков, которые имеют значимые отличия. Вследствие этого при стабильном результате запроса весовые коэффициенты или их средние значения могут быть приняты для дальнейшего анализа.

В случае нестабильного результата для определения весовых коэффициентов может быть использован алгоритм формирования рандомизированных оценок комплексного показателя [1]. Данный алгоритм предполагает, что вероятность выполнения неравенства, отражающего соотношение между собой весовых коэффициентов, должна быть равна единице. Следовательно, в случае если неравенство не присутствует в разных результатах запроса, то такое неравенство исключается.

В результате будут использованы только те неравенства, которые фиксируют устойчивое отличие в важности весовых коэффициентов. Таким образом, алгоритм включает следующие шаги:

Шаг 1. Выполнить перезапуск запроса и для каждого варианта сформировать систему неравенств $P_j > P_i$. Неравенства могут быть как непосредственным результатом запроса, так и сформированы на основе полученных весовых коэффициентов.

В случае формирования неравенств осуществляется построение линейной упорядоченной по убыванию последовательности весовых коэффициентов p_i (ε – уровень ошибки).

Для всех $i > j, i, j = 1 \dots m$.

Если $|p_i - p_j| \geq \varepsilon$, то в систему неравенств включить $p_j > p_i$.

Шаг 2. Для каждого s -го неравенства вычислить долю запусков, в которых оно было установлено (вероятность его выполнения), v_s :

$$v_s = \frac{z^*}{z}$$

где z – общее количество запусков запроса; z^* – число запусков, в которых было установлено s -е неравенство.

Исключить неравенства, для которых доля v_s меньше 1.

Шаг 3. Использовать полученную систему неравенств для получения численных значений весовых коэффициентов.

В общем виде структуру промпта можно представить следующим образом (рис. 4):

1. Контекст, роль, данные: описание общего направления и специалиста, выполняющего оценку, а также имеющиеся данные, например финансовые показатели предприятия.

2. Действие, которое необходимо выполнить модели, например оценка важности.

3. Критерии и объект: названия и смысловая нагрузка критериев, для которых устанавливаются весовые коэффициенты важности и объекта.

4. Формат вывода: диапазон возможных значений, пример результата и т.д.



Рис. 4. Общая структура промпта

Для иллюстрации работы алгоритма рассмотрим критерии, представленные в [20], и модель ChatGPT-4o. В табл. 5 представлены значения вероятности исходя из 10 запросов (уровень ошибки равен 0,05). Следовательно, будет оставлено только 2–6 неравенств.

Таблица 5
Результат вычисления вероятности выполнения неравенства

Неравенство	Вероятность выполнения
$p_1 > p_2$	0,8
$p_1 > p_3$	1
$p_1 > p_4$	1
$p_2 > p_3$	1
$p_2 > p_4$	1
$p_3 > p_4$	1
$p_2 > p_1$	0,2

Для формирования значений весовых коэффициентов воспользуемся методом построения рандомизированных оценок с точностью 0,1. В этом случае возможны только две комбинации:

- 1) $p_1 = 0,3; p_2 = 0,4; p_3 = 0,2; p_4 = 0,1;$
- 2) $p_1 = 0,4; p_2 = 0,3; p_3 = 0,2; p_4 = 0,1.$

Вычислив среднее значение для каждого коэффициента, получим окончательный вариант: $p_1 = 0,35; p_2 = 0,35; p_3 = 0,2; p_4 = 0,1.$

При определении весовых коэффициентов следует иметь в виду, что использование моделей текстового генеративного искусственного интеллекта связано с рядом рисков: искажение или ошибки в ответах на запросы, а также вероятность получения устаревших данных. Кроме того, выходные данные могут быть недетерминированными. В этой связи необходим последующий анализ полученной информации.

Таким образом, текстовый генеративный искусственный интеллект может выступать в качестве вспомогательного инструмента при создании экспертных оценок с последующим анализом их обоснования и возможной корректировкой в ходе дискуссии. При этом ключевым аспектом является четкий и информативный промпт, содержащий всю необходимую информацию. Модели могут также выступать «вторым мнением», которое позволяет перепроверять информацию [25]. Кроме того, сгенерированная информация может являться отправной точкой во избежание «синдрома пустой страницы», когда начинать работу с некоторого готового каркаса проще, чем с самого начала.

Также были исследованы математические способности моделей в контексте генерации весовых коэффициентов методом их рандомизации, учитывающим установленные экспертами ограничения. Для этого был использован пример исходных данных, представленный в статье [1].

Промпт: «Имеется 9 показателей, которые принимают значения от 0,05 до 1: p_1-p_9 . Каждое значение показателя должно быть кратно 0,05 и не должно быть равно 0,00. Сумма показателей равна 1,00. Выполняются следующие неравенства: $p_3 > p_1; p_1 > p_2; p_6 > p_4; p_5 > p_4; p_2 > p_4; p_9 > p_8; p_9 > p_7$. Напиши численные значения комбинации показателей, чтобы неравенства были выполнены». GigaChat с данной задачей не справилась, результаты работы других моделей представлены в табл. 6.

Таблица 6
Результат работы моделей по генерации весовых коэффициентов

Переменная	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9
CG-4o	0,2	0,1	0,25	0,05	0,15	0,2	0,05	0,05	0,1
CG-o1	0,15	0,1	0,25	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15
Yandex GPT	0,1	0,05	0,15	0,05	0,1	0,2	0,05	0	0,3

Можно отметить, что наилучшие результаты показала модель ChatGPT-o1, при этом были сгенерированы разные значения весовых коэффициентов в каждом запуске. ChatGPT-4o сгенерировала коэффици-

енты с ошибкой: их сумма не равна 1. Весовые коэффициенты, сгенерированные Yandex GPT, принимают нулевые значения, что также не соответствует установленным ограничениям, а комбинации повторяются из запуска к запуску.

Решение оптимизационных задач с использованием весовых коэффициентов

Стоит отметить, что применение весовых коэффициентов относительной важности не ограничивается моделями формирования интегральных показателей, они могут быть использованы в других математических моделях. В частности, экспертные оценки могут быть интегрированы в оптимизационные модели, используемые для поддержки принятия решений. Рассмотрим модификацию моделей линейного и нелинейного программирования.

Задача линейного программирования

В задачах линейного программирования целевая функция и ограничения являются линейными.

$$g(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \rightarrow \max,$$

$$f_i(x) = w_i, \quad i = 1 \dots e,$$

$$r_j(x) \leq q_j, \quad j = 1 \dots u,$$

$$x_k \geq 0, \quad k = 1 \dots n,$$

где $g(x)$ – целевая функция; $f(x), r(x)$ – функции-ограничения; e – число ограничений-равенств; u – число ограничений-неравенств; n – число аргументов; x – искомые значения аргументов; a – числовые коэффициенты.

В этом случае выполняется преобразование целевой функции по следующему алгоритму:

Шаг 1. Формируется интегральный показатель, включающий коэффициенты целевой функции и весовые коэффициенты p .

Коэффициенты a целевой функции нормируются и приводятся к интервалу от 0 до 1. Так, при положительных значениях и предпочтительном максимальном значении аргументов формула будет иметь вид [26]

$$\tilde{a}_i = a_i / \max a_i .$$

Выполняется преобразование значений, чтобы их сумма была равна 1.

$$a_i^* = \frac{\tilde{a}_i}{\sum_{i=1}^m \tilde{a}_i} .$$

Формируется интегральный показатель

$$v_i = \mu a_i^* + (1 - \mu) p_i ,$$

где μ – весовой коэффициент от 0 до 1, чем меньше значение, тем в большей степени будет учтена экспертная информация.

Шаг 2. Строится новая целевая функция

$$g(x) = v_1x_1 + v_2x_2 + \dots + v_nx_n \rightarrow \max .$$

Далее решается полученная задача линейного программирования.

В качестве примера рассмотрим модель для определения способов продвижения образовательного продукта [27]

$$f(x) = x_1r_1 + x_2r_2 + x_3r_3 \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^3 x_i = 1,$$

$$c1_i \leq x_i c \leq c1_2,$$

где x_i – доля средств, выделенных на i -метод продвижения продукта; c – общий бюджет затрат на методы $c1$ и $c2$ – нижняя и верхняя граница выделенных средств на каждый метод; r_i – рентабельность (прибыль с i -метода / затраты с i -метода) по результатам прошлого периода.

Исходные данные и результаты решения задачи при бюджете 350 000 на следующие 8 месяцев представлены в табл. 7.

Таблица 7

Исходные данные задачи

Метод	Рентабельность	Нижняя граница затрат, руб.	Верхняя граница затрат, руб.
SMM	1,907	80 000	110 000
SEO	1,274	120 000	140 000
SEA	1,121	120 000	140 000

Результат запроса к ChatGPT-4o свидетельствует о том, что SEO имеет долгосрочный эффект, что обеспечивает его более высокую значимость:

- SEO (вес 0,5): поисковая оптимизация часто рассматривается как наиболее эффективный метод, так как он позволяет привлечь органический трафик без постоянных затрат на рекламу. Хорошо оптимизированный сайт может долгое время занимать топовые позиции в поисковых системах.

- SMM (вес 0,3): маркетинг в социальных сетях позволяет непосредственно взаимодействовать с целевой аудиторией и строить лояльность к бренду. Это особенно важно для B2C-секторов, где визуальное восприятие имеет значение. Тем не менее его результаты могут быть менее предсказуемыми по сравнению с SEO.

- SEA (вес 0,2): реклама в поисковых системах обеспечивает быстрый, но часто более дорогой способ привлечения клиентов. Хотя она может быть очень эффективной для получения немедленных результатов, ее эффективность может зависеть от бюджета и конкуренции.

Результат решения задачи представлен в табл. 8 ($\mu = 0,5$). Таким образом, при использовании весовых коэффициентов была выполнена корректировка и для метода SEO был выделен больший бюджет.

Таблица 8

Решение задачи

Метод	Средства, выделенные на метод, руб.	
	Без использования весовых коэффициентов	С использованием весовых коэффициентов
SMM	110 000	90 000
SEO	120 000	140 000
SEA	120 000	120 000

Задача нелинейного программирования

Целевую функцию можно преобразовать к следующему виду:

$$c \rightarrow \min,$$

$$g(x) = c,$$

где c – минимальное значение целевой функции.

Возведем c в квадрат и добавим в целевую функцию регуляризацию искомым переменных с учетом весовых коэффициентов:

$$\lambda \sum_{k=1}^n p_k x_k^2 + (1-\lambda)c^2 \rightarrow \min,$$

$$g(x) = c,$$

$$f_i(x) = w_i, \quad i = 1..e,$$

$$r_j(x) \leq q_j, \quad j = 1..u,$$

$$x_k \geq 0, \quad k = 1..n,$$

где λ – множитель, который показывает, в какой степени будут учитываться весовые коэффициенты в модели (от 0 до 1).

Искомые значениями являются величины x и c . Величина c представляет собой наименьшее значение целевой функции.

Такое преобразование соответствует обратной одноточечной задаче по формированию показателя при минимизации суммы квадратов изменений аргументов [28, 29]. Решение задачи такого вида рассмотрено в [30].

Заключение

Статья посвящена исследованию проблемы повышения эффективности принятия решений с помощью генеративного текстового искусственного интеллекта. С использованием метода рандомизации оценок исследованы возможности существующих моделей (ChatGPT, GigaChat, YandexGPT) в части генерирования весовых коэффициентов относительной важности признаков. В результате сравнения с литературными данными было установлено, что модели способны эффективно классифицировать признаки по их степени важности. Однако в случаях, когда степень важности признаков незначительно различается, принятые решения могут оказаться неустойчивыми. Для оценки весовых коэффициентов в таком случае предложен алгоритм на основе формирования рандомизированных показателей. Кроме того, необходим последующий анализ полученных данных и их обоснования. Разработаны модификации моделей условной оптимизации с целью интеграции весовых коэффициентов относительной важности признаков, что позволяет корректировать полученное решение.

Литература

1. Тушавин В.А. Использование рандомизированных показателей для качественной оценки осуществимости ИТ-проектов // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Экономика и экологический менеджмент» – 2014. – № 3. – С. 566–575.
2. Тушавин В.А. К вопросу об анализе рисков при оценивании комплексного показателя качества / В.А. Тушавин, Я.В. Тушавин, А.С. Тур // Компетентность. – 2024. – № 6. – С. 51–55.
3. Рожков Н.Н. Рандомизированный критерий сравнения качества сложных объектов // Экономика и математические методы. – 1991. – № 3. – С. 597–600.

4. Muhammad S.K. ChatGPT in finance: Applications, challenges, and solutions / S.K. Muhammad, U. Hamza // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 2. – P. 1–8.
5. Integrating generative AI in management education: A mixed-methods study using social construction of technology theory / P. Gupta, R. Mahajan, U. Badhera, P.S. Kushwaha // The International Journal of Management Education. – 2024. – Vol. 22, No. 3. – P. 101017.
6. Rudolph J. ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? / J. Rudolph, S. Tan, S. Tan // Journal of Applied Learning & Teaching. – 2023. – Vol. 6, No. 2. – P. 342–360.
7. The ChatGPT bot is causing panic now – but it'll soon be as mundane a tool as Excel: analysing topics, sentiment and emotions relating to ChatGPT on Twitter / D. Heaton, J. Clos, E. Nichele, J. Fisher // Personal and Ubiquitous Computing. – 2024. – P. 1–20.
8. Dowling M. ChatGPT for (Finance) research: The Bananarama Conjecture / M. Dowling, B. Lucey // Finance Research Letters. – 2023. – Vol. 53. – P. 103662.
9. Gautier M. From Data to Trade: A Machine Learning Approach to Quantitative Trading [Электронный ресурс]. – Режим доступа: dx.doi.org/10.2139/ssrn.4315362, свободный (дата обращения: 24.10.2024).
10. Niszczoła P. The credibility of dietary advice formulated by ChatGPT: Robo-diets for people with food allergies / P. Niszczoła, I. Rybicka // Nutrition. – 2023. – Vol. 112. – P. 112076.
11. Ray P.P. Re: The credibility of dietary advice formulated by ChatGPT: Robo-diets for people with food allergies? // Nutrition. – 2024. – Vol. 118. – P. 112285.
12. Lo A.W. From ELIZA to ChatGPT: The Evolution of Natural Language Processing and Financial Applications ChatGPT / A.W. Lo, S. Manish, // The Journal of Portfolio Management. – 2023. – Vol. 49, No. 7. – P. 201–235.
13. Niszczoła P. GPT has become financially literate: Insights from financial literacy tests of GPT and a preliminary test of how people use it as a source of advice / P. Niszczoła, S. Abbas // Finance Research Letters. – 2023. – Vol. 58. – P. 104333.
14. Oehler A. Does ChatGPT provide better advice than robo-advisors? / A. Oehler, H. Matthias // Finance Research Letters. – 2024. – Vol. 60. – P. 104898.
15. Transforming sentiment analysis in the financial domain with ChatGPT / G. Fatouros, J. Soldatos, K. Kouroumalis, G. Makridakis, D. Kyriazis, M. Horn, S. Abbas, M. Singh // Machine Learning with Applications. – 2023. – Vol. 14. – P. 100508.
16. Pelster M. Can ChatGPT assist in picking stocks? / M. Pelster, J. Val // Finance Research Letters. – 2024. – Vol. 59. – P. 104786.
17. Kim J.K. What if ChatGPT were a quant asset manager // Finance Research Letters. – 2023. – Vol. 58. – P. 104580.
18. Ko H. Can ChatGPT improve investment decisions? From a portfolio management perspective / H. Ko, J. Lee // Finance Research Letters. – 2024. – Vol. 64. – P. 105433.
19. Романович М.А. Интегральная оценка рейтинга квалификации строительных рабочих / М.А. Романович, Т.Л. Симанкина, Д.П. Ильченко // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 5. – С. 49–53.
20. Методика оценивания потенциальной ненадежности действий летчика / Д.А. Никифоров, А.А. Ворона, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 7. – С. 7–14.
21. Киреев В.П. Рейтинг веб-сайтов крупнейших ризлтерских организаций Республики Беларусь / В.П. Киреев, Т.В. Борздова // Инновационное развитие эконо-

мики: предпринимательство, образование, наука: сборник научных статей. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2015. – С. 164–167.

22. Богомазова И.В. Оценка привлекательности объектов сельского туризма региона на основе метода анализа иерархии // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2011. – № 2. – С. 50–57.

23. Петриченко Г.С. Методика оценки компетентности экспертов / Г.С. Петриченко, В.Г. Петриченко // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 109. – С. 1–12.

24. Крапива Т.В. Анализ факторов, влияющих на выбор ресторана в г. Кемерово / Т.В. Крапива, Н.И. Давыденко // Новая наука: от идеи к результату: труды междунар. науч.-практ. конф. – Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2012. – Ч. 1. – С. 184–187.

25. ChatGPT for digital forensic investigation: The good, the bad, and the unknown / M. Scanlon, F. Breitingner, C. Hargreaves, J. Hilgert, J. Sheppard // Forensic Science International: Digital Investigation. – 2023. – Vol. 46. – P. 301609.

26. Грибанова Е.Б. Информационная система рейтинговой оценки объектов экономики / Е.Б. Грибанова, А.Н. Алимханова, П.Э. Тугар-оол // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 51–55.

27. Котовщикова Л.Ю. Выбор методов продвижения на основе ABC-анализа и решения оптимизационной задачи целочисленного программирования // Глобальная экономика в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий: сборник науч. статей. – М.: ООО «Конверт», 2020. – Ч. 1. – С. 60–62.

28. Griбанова Е.В. Development of iterative algorithms for solving the inverse problem using inverse calculations // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 4, No. 3. – P. 27–34.

29. Грибанова Е.Б. Методы решения обратных задач экономического анализа с помощью минимизации приращений аргументов // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 95–99.

30. Griбанова Е.В. Development of a price optimization algorithm using inverse calculations // Eastern-European journal of Enterprise technologies. – 2019. – Vol. 5, No. 4. – P. 18–25.

Грибанова Екатерина Борисовна

Д-р техн. наук, проф. каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050

ORCID: 0000-0001-6499-5893

Тел.: +7 (382-2) 70-15-36

Эл. почта: ekaterina.b.gribanova@tusur.ru

Леонов Дмитрий Викторович

Аспирант каф. АСУ ТУСУРА
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7 (382-2) 70-15-36

Эл. почта: Invdmityr@outlook.com

Griбанова Е.В., Leonov D.V.

Development of conditional optimization models taking into account weighting factors of relative importance

The article examines the possibilities of generative textual artificial intelligence to determine the weighting coefficients of the relative importance of features. For the first time, the modification of conditional optimization models was performed in order

to take into account the weighting coefficients of relative importance obtained on the basis of the randomization model.

Keywords: text generative artificial intelligence, weighting factors, optimization model, conditional optimization, ChatGPT.

DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-3-100-108

References

1. Tushavin V.A. [The use of randomized indicators for qualitative assessment of the feasibility of IT projects]. *Scientific Journal of the ITMO Research Institute. The series Economics and Environmental Management*, 2014, no. 3, pp. 566–575 (in Russ.).

2. Tushavin V.A., Tushavin Ja.V., Tur A.S. [On the issue of risk analysis in assessing a comprehensive quality indicator]. *Competency*, 2024, no. 6, pp. 51–55 (in Russ.).

3. Rozhkov N.N. [A randomized criterion for comparing the quality of complex objects]. *Economics and Mathematical Methods*, 1991, no. 3, pp. 597–600 (in Russ.).

4. Muhammad S.K., Hamza U. ChatGPT in finance: Applications, challenges, and solutions. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 2, pp. 1–8.

5. Gupta P., Mahajan R., Badhera U., Kushwaha P.S. Integrating generative AI in management education: A mixed-methods study using social construction of technology theory. *The International Journal of Management Education*, 2024, vol. 22, no. 3, p. 101017.

6. Rudolph J., Tan S. ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning & Teaching*, 2023, vol. 6, no. 2, pp. 342–360.

7. Heaton D., Clos J., Nichele E., J. Fisher J. The ChatGPT bot is causing panic now – but it'll soon be as mundane a tool as Excel: analysing topics, sentiment and emotions relating to ChatGPT on Twitter. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2024, pp. 1–20.

8. Dowling M., Lucey B. ChatGPT for (Finance) research: The Bananarama Conjecture. *Finance Research Letters*, 2023, vol. 53, p. 103662.

9. Gautier M. From Data to Trade: A Machine Learning Approach to Quantitative Trading. Available at: dx.doi.org/10.2139/ssrn.4315362 (Accessed: October 24, 2024).

10. Niszczota P., Rybicka I. The credibility of dietary advice formulated by ChatGPT: Robo-diets for people with food allergies. *Nutrition*, 2023, vol. 112, p. 112076.

11. Ray P.P. Re: "The credibility of dietary advice formulated by ChatGPT: Robo-diets for people with food allergies?" *Nutrition*, 2024, vol. 118, p. 112285.

12. Lo A.W., Manish S. From ELIZA to ChatGPT: The Evolution of Natural Language Processing and Financial Applications ChatGPT. *The Journal of Portfolio Management*, 2023, vol. 49, no. 7, pp. 201–235.

13. Niszczota P., Abbas S. GPT has become financially literate: Insights from financial literacy tests of GPT and a preliminary test of how people use it as a source of advice. *Finance Research Letters*, 2023, vol. 58, p. 104333.

14. Oehler A., Matthias H. Does ChatGPT provide better advice than robo-advisors? *Finance Research Letters*, 2024, vol. 60, p. 104898.

15. Fatouros G., Soldatos J., Kouroumalis K., Makridakis G., Kyriazis D., Horn M., Abbas S., Singh M. Transforming sentiment analysis in the financial domain with ChatGPT. *Machine Learning with Applications*, 2023, vol. 14, p. 100508.

16. Pelster M., Val J. Can ChatGPT assist in picking stocks? *Finance Research Letters*, 2024, vol. 59, 104786.

17. Kim J.K. What if ChatGPT were a quant asset manager. *Finance Research Letters*, 2023, vol. 58, 104580.

18. Ko H., Lee J. Can ChatGPT improve investment decisions? From a portfolio management perspective. *Finance Research Letters*, 2024, vol. 64, p. 105433.

19. Romanovich M.A., Simankina T.L., Il'chenko D.P. [Integral assessment of the qualification rating of construction workers]. *Industrial and Civil Engineering*, 2015, no. 5, pp. 49–53 (in Russ.).

20. Nikiforov D.A., Vorona A.A., Bogomolov A.V., Kuskushkin Ju.A. [Methodology for assessing the potential unreliability of the pilot's actions]. *Life Safety*, 2015, no. 7, pp. 7–14 (in Russ.).

21. Kireenko V.P., Borzdova T.V. *Rejting veb-sajtov krupnejshih rijelterskih organizacij respubliky Belarus'* [Rating of websites of the largest real estate organizations in the Republic of Belarus]. *Innovacionnoe razvitie jekonomiki: predprinimatel'stvo, obrazovanie, nauka: sbornik nauchnyh statej* [Innovative Economic Development: Entrepreneurship, Education, Science. Collection of scientific articles]. Minsk, GIUST BSU Publ., 2015, pp. 164–167 (in Russ.).

22. Bogomazova I.V. [Assessment of the attractiveness of rural tourism facilities in the region based on the hierarchy analysis method]. *Modern Problems of Service and Tourism*, 2011, no. 2, pp. 50–57 (in Russ.).

23. Petrichenko G.S., Petrichenko V.G. [Methodology for assessing the competence of experts]. *Методика оценки компетентности экспертов. KubGAU Scientific Journal*, 2015, no. 109, pp. 1–12 (in Russ.).

24. Krapiva T.V., Davydenko N.I. *Analiz faktorov, vlijajushchih na vybor restorana v g. Kemerovo* [Analysis of the factors influencing the choice of a restaurant in Kemerovo]. *Novaja nauka: ot idei k rezul'tatu: trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [New Science: from Idea to Result. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Sterlitamak, RIC AMI Publ., 2012, Part. 1, pp. 184–187 (in Russ.).

25. Scanlon M., Breitinger F., Har-greaves C., Hilgert J., Sheppard J. ChatGPT for digital forensic investigation: The good, the bad, and the unknown. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 2023, vol. 46, p. 301609.

26. Gribanova E. B. [Information system for ranking evaluation of economic entities]. *Proceedings of TUSUR University*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 51–55 (in Russ.).

27. Kotovshhikova L.Ju. *Vybor metodov prodvizhenija na osnove AVS-analiza i reshenija optimizacionnoj zadachi celochislennogo programmirovaniya* [The choice of promotion methods based on ABC analysis and solving the optimization problem of integer programming]. *Global'naja jekonomika v XXI veke: rol' biotekhnologij i cifrovyh tehnologij. Sbornik nauchnyh statej* [The Global Economy in the 21st Century: the Role of Biotechnology and Digital Technologies. Collection of scientific articles]. Moscow, «Konvert» Publ., 2020, Part. 1, pp. 60–62 (in Russ.).

28. Gribanova, E. B. Development of iterative algorithms for solving the inverse problem using inverse calculations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, vol. 4, no. 3, pp. 27–34.

29. Gribanova E. B. [Methods for solving inverse problems of economic analysis by minimizing argument increments]. *Proceedings of TUSUR University*, 2018, vol. 21, no. 2, pp. 95–99 (in Russ.).

30. Gribanova E.B. Development of a price optimization algorithm using inverse calculations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 18–25.

Ekaterina B. Gribanova

Doctor of Science in Engineering, Professor,
Department of Automated Control System (ACS),
Tomsk State University of Control Systems
and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0000-0001-6499-5893
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: ekaterina.b.gribanova@tusur.ru

Dmitry V. Leonov

Postgraduate student, Department of ACS TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: lndmitry@outlook.com