

УДК 303.732.4

Методика оценки эффективности обработки информации в центрах обработки вызовов

Касаткин Ф. Ю., Макаренко С. И.

Постановка задачи: В центрах обработки вызовов (ЦОВ) существует объективное противоречие между необходимостью повышения качества обслуживания и стремлением минимизировать затраты. Отсутствие научно обоснованного критерия эффективности, агрегирующего качество обработки информации в ЦОВ и ресурсозатратность данной обработки, не позволяет формализовать задачу оптимизации в условиях, когда получение истинной оценки качества обработки информации в ЦОВ от клиентов затруднено, а взаимоотношения заказчика и поставщика услуг обработки информации в ЦОВ носят характер игры с ненулевой суммой. **Цель работы** состоит в разработке научно обоснованной методики оценки эффективности обработки информации в ЦОВ, в форме функции ценности, интегрирующей качество и ресурсозатратность обработки информации в ЦОВ, а также определение критерия квазиоптимальности обработки информации в ЦОВ, оценивать степень близости качества обработки информации в ЦОВ к оптимальному без избыточных ресурсных затрат на строгое решение задачи оптимизации. **Новизна:** Впервые в качестве критерия эффективности обработки информации в ЦОВ предложено использовать функцию ценности, агрегирующую обобщенный показатель качества (ОПК) обработки информации в ЦОВ и экономию на цене единицы услуги обработки информации с достигнутым уровнем качества. Научно обоснован вид функциональной зависимости цены единицы услуги от ОПК, а также введен количественный критерий квазиоптимальности достигаемого значения ОПК при нестрогом решении задачи оптимизации. **Результат:** Разработана методика расчета эффективности обработки информации в ЦОВ в форме функции ценности для равной и неравной значимости качества и ресурсозатратности обработки информации в ЦОВ с точки зрения лица, принимающего решение. Показано, что в границах исследования необходима и достаточна линейная зависимость цены единицы услуги обработки информации в ЦОВ от достигаемого значения ОПК. Определено оптимальное значение ОПК как функция удельных весов (значимости) качества и ресурсозатратности обработки информации в ЦОВ. Разработан критерий квазиоптимальности для нестрогой оптимизации качества обработки информации в ЦОВ. **Практическая значимость:** Разработанная методика позволяет заказчику услуг ЦОВ без дополнительных затрат на получение обратной связи от клиентов и на строгое решение задачи оптимизации качества обработки информации, исключительно через экономическую стимуляцию поставщика, обеспечивать квазиоптимальное значение качества обработки информации в ЦОВ. Предложенный подход универсален для различных шкал измерения частных оценок качества и методов их скаляризации, а также применим в других сферах, где стоимость услуги зависит от её качества (образование, здравоохранение, административное управление и пр.).

Ключевые слова: центры обработки вызовов, качество обработки информации в ЦОВ, эффективность, функция ценности, квазиоптимальность, оптимизация, интегральный критерий качества.

Библиографическая ссылка на статью:

Касаткин Ф. Ю., Макаренко С. И. Методика оценки эффективности обработки информации в центрах обработки вызовов // Системы управления, связи и безопасности. 2026. № 2. С. 173-196. DOI: 10.24412/2410-9916-2026-2-173-196

Reference for citation:

Kasatkin F. Yu., Makarenko S. I. Methods for evaluating the efficiency of information processing in call centers. *Systems of Control, Communication and Security*, 2026, no. 2, pp. 173-196 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2026-2-173-196

Актуальность

Задачи оценки качества обработки информации в центрах обработки вызовов (ЦОВ) актуальны до настоящего времени. Это обусловлено тем, что для организаций – поставщиков обработки информации клиентам – физическим лицам прием входящих телефонных вызовов от клиентов и обработка операторами ЦОВ поступающей от клиентов информации (включая предоставление им встречной информации, в виде ответов на их вопросы) является стандартным обратным каналом связи с клиентами. Для этого организации используют ЦОВ. В настоящей работе рассматривается частный случай получения организацией-заказчиком обработки информации в ЦОВ от специализированной организации – поставщика обработки информации в ЦОВ (далее – оператора ЦОВ).

Проведем системный анализ организации обработки информации в ЦОВ. К основным методам системного анализа относятся: анализ и синтез; индукция и дедукция; декомпозиция и композиция; структуризация и деструктуризация и др. Для постановки задачи на исследование далее на основе методов анализа, дедукции и декомпозиции проведем декомпозицию организации обработки информации в ЦОВ на: процессы подготовки к обработке информации, которые, в свою очередь, в соответствии с методом декомпозиции, подразделяются на анализ нормативной базы для данного вида обслуживания; анализ рыночных практик; определение способов объективного контроля качества обработки информации в ЦОВ; формирование критериев оценки удовлетворенности клиентов итогами обработки их информации в ЦОВ; определение затрат на организацию обработки информации – рассмотрены в работе [1]; экономическая основа организации обработки информации – рассмотрена в работе [2]. Далее на основе проведенного анализа (дедукции и декомпозиции) путем использования методов синтеза и индукции (от частного – к общему) сформулируем проблемную ситуацию, на разрешение которой направлено настоящее исследование, а также объект, предмет и цель данного исследования.

Каждая организация, использующая ЦОВ, объективно заинтересована обеспечить максимально достижимое качество обработки информации в ЦОВ при минимально возможных затратах на данную обработку. Под качеством здесь понимается согласно справочнику [12] степень соответствия совокупности присущих ЦОВ характеристик требованиям цели обработки информации в ЦОВ. Эти требования определяет лицо, принимающее решения (ЛПР) организации – заказчика обработки информации в ЦОВ (далее – заказчика).

Ввиду того, что повышение качества любых услуг, в том числе услуг обработки информации в ЦОВ, всегда объективно увеличивает затраты на данной услуги (см., например, работы [13, 14]), невозможно одновременно повысить качество обработки информации в ЦОВ и снизить затраты на данную обработку. Как следует из определения, приведенного в справочнике [12], степень достижения цели без учета затрат ресурса является результативностью. Таким образом, повышение качества обработки информации обработки вызовов в ЦОВ без учета затрат на их организацию повышает результативность обработки информации в ЦОВ.

Налицо проблемная ситуация, требующая выработки критерия эффективности обработки информации в ЦОВ. Эффективность здесь, согласно справочнику [12], характеризует приспособленность ЦОВ к достижению цели его функционирования (в данном случае – обработки информации в ЦОВ), приведенную к затраченным ресурсам (то есть затратами заказчика на обеспечение данной обработки). Так как результативность обработки информации в ЦОВ характеризуется качеством обработки информации в ЦОВ (см. выше), соотношение качества обработки информации в ЦОВ и ее ресурсозатратности (то есть стоимости для заказчика) позволит определить скалярный критерий эффективности обработки информации в ЦОВ, по которому можно производить многокритериальную оптимизацию организации обработки информации в ЦОВ. Если качество обработки информации в ЦОВ выражается скалярной величиной (пример частного случая одномерной оценки качества обработки информации в ЦОВ приведен в работе [2], а скаляризация векторной оценки качества обработки информации в ЦОВ в интегральный критерий качества – в работах [10, 15, 16]), то минимально возможная теоретически размерность оптимизационной задачи равна двум: обобщенная оценка качества обработки информации в ЦОВ и ресурсозатратность данной обработки.

Так как в реальных ЦОВ получение истинной (т. е. субъективной; сделанной клиентами – субъектами обработки информации по результатам общения с операторами ЦОВ) оценки качества обработки информации либо невозможно, либо сопряжено со значительными ресурсными затратами (см. работу [10]), практически значимым является формирование оценки качества обработки информации в ЦОВ, получаемой техническими средствами ЦОВ (как объекта информационного обмена) без дополнительных затрат на получение обратной связи от клиентов (субъектов информационного обмена). Данная оценка будет, соответственно, объективной.

Строгое решение задачи оптимизации качества обработки информации в ЦОВ (далее – задачи оптимизации) требует оптимизации субъективной оценки. Выбранный ЛПР способ формирования объективной оценки должен по определению обеспечивать сильную ее корреляцию с субъективной оценкой. Оптимизация объективной оценки даст (в общем случае) нестрогое решение задачи оптимизации. Однако, в силу сильной корреляции обеих оценок, оно будет достаточно близким к оптимальному. Далее в работе рассматривается оптимизация объективной оценки качества обработки информации в ЦОВ.

В случае построения модели ЦОВ как объекта обработки информации, достаточно близкой к прототипу – реальному ЦОВ, оптимизация объективной оценки теоретически решается стандартными приемами. Однако в практике получение оптимального значения объективной оценки качества обработки информации в ЦОВ (при детерминированном потоке входящих вызовов) либо его математического ожидания (случайном потоке входящих вызовов) может потребовать дополнительных ресурсных затрат либо оказаться вовсе невозможной – например, если условия договора между заказчиком и поставщиком услуг ЦОВ, необходимые для получения услуг со строго оптимальным значением объективной оценки качества, не соответствуют рыночной практике и не поз-

волят найти поставщика услуг, готового на данные условия. В этом случае взаимоотношения заказчика и поставщика услуг ЦОВ могут быть описаны как игра с ненулевой суммой (см., например, работу [32]). Выигрыш поставщика услуг ЦОВ определяется ожидаемой поставщиком прибылью, которую поставщик для себя определяет как функцию обобщенной оценки качества услуг ЦОВ. В свою очередь заказчик услуг ЦОВ должен определить цену услуг ЦОВ как функцию объективной оценки качества так, чтобы оптимальное значение качества услуг ЦОВ находилось в некоторой (желательно как можно меньшей) окрестности точки максимальной прибыли поставщика услуг ЦОВ. В данной игре будет достигнуто равновесие Нэша в отношении качества услуг ЦОВ: условия договора между заказчиком и поставщиком услуг ЦОВ неизменны; поставщик будет стремиться оказывать услуги со значением обобщенной оценки качества, максимально близким к точке своей максимальной прибыли; для заказчика услуг точка максимальной прибыли поставщика обеспечит значение объективной оценки качества, достаточно близкое к оптимальному. Указанная модель подробно описана в работе [1].

Более строго, критерий «достаточной близости» будет критерием квази-оптимальности объективной оценки качества, достигнутого как результат игры за счет собственной инициативы (и экономической заинтересованности) поставщика услуг ЦОВ без каких-либо ресурсных затрат заказчика на оптимизацию. Данный критерий должен быть сформулирован и обоснован в явном виде.

Соответственно сказанному выше, настоящая работа преследует две цели:

- 1) формирование научно обоснованной оценки эффективности обработки информации в ЦОВ, отражающей соотношение качества обработки информации в ЦОВ и ее ресурсозатратность;
- 2) определение критерия квазиоптимальности нестрого решения задачи оптимизации по значению оценки эффективности.

1. Применяемые обозначения

Для формальной постановки и решения задачи в работе введены обозначения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения

Обозначение	Пояснение обозначения
x	Субъективная оценка качества обработки информации в ЦОВ субъектами информационного обмена – клиентами, чьи вызовы были обслужены в ЦОВ
y	Объективная оценка качества обработки информации в ЦОВ – вектор частных оценок качества, определенных на числовой шкале
y_{\min}	Вектор минимальных значений частных оценок качества
y_{\max}	Вектор максимальных значений частных оценок качества
$q(y) \in [0; 1]$	Обобщенный показатель качества (функция качества) обработки информации в ЦОВ
$c(q)$	Функция стоимости – ресурсозатратность, то есть цена единицы услуги обработки информации в ЦОВ с оценкой качества y , которую заказчик платит поставщику

Обозначение	Пояснение обозначения
c_{\min}	Цена единицы услуги обработки информации в ЦОВ с минимальным качеством ($y = y_{\min}; q = 0$)
c_{\max}	Цена единицы услуги обработки информации в ЦОВ с минимальным качеством ($y = y_{\max}; q = 1$)
$e(q) \in [0; 1]$	Экономия заказчика на цене единицы услуг. Измеряется удельным показателем соотношения фактической и граничной цены единицы услуги обработки информации в ЦОВ: $e(q) = (c_{\max} - c(q))/(c_{\max} - c_{\min})$
$v(q, c)$	Функция ценности, отражающая эффективность обработки информации в ЦОВ для заказчика. Агрегирует значения кардинальной оценки качества и цены обработки информации в ЦОВ. Значение $v(\cdot)$ фактически рассчитывается через значения q и e , но формально является функцией одной переменной q
v_{\max}	Идеальная цель заказчика в отношении v : $v_{\max} = \max(v) q \in [0; 1]$
$q_{\text{опт}}$	Идеальная цель заказчика в отношении q : $q_{\text{опт}} = \arg v_{\max}$
$\varepsilon \ll 1$	Порог чувствительности заказчика – критерий квазиоптимальности достигнутого значения q
$v_{\text{копт}}$	Квазиоптимальное значение ценности обработки информации в ЦОВ: $(1 - \varepsilon) < v_{\text{копт}}/v_{\max} \leq 1$.
$q_{\text{копт}}$	Квазиоптимальное значение функции качества: $q_{\text{копт}} = \arg v_{\text{копт}}$. Реальная цель заказчика в отношении q

Задача достижения квазиоптимального значения качества обработки информации в ЦОВ решается в следующей последовательности:

- 1) формирование объективной оценки качества обработки информации в ЦОВ (далее – оценки качества) y , достаточно сильно (по мнению ЛПР) коррелированной с недоступной к непосредственному измерению субъективной оценкой качества x ;
- 2) выбор научно обоснованной методики скаляризации оценки качества y в обобщенный критерий качества (ОПК) обработки информации в ЦОВ q ;
- 3) выбор научно обоснованной методики агрегации достигнутого значения ОПК и стоимости обработки информации в оценку эффективности обработки информации (см. работы [8, 9, 33]);
- 4) выбор научно обоснованного вида функциональной зависимости цены единицы обработки информации от значения ОПК;
- 5) оптимизация качества обработки информации в ЦОВ. Оптимальное и квазиоптимальное значение ОПК по критерию эффективности обработки информации.

В настоящей работе раскрывается решение частной задачи «выбор научно обоснованной методики агрегации достигнутого значения ОПК и стоимости обработки информации в оценку эффективности обработки информации, построенную в форме функции ценности обработки информации». Решение прочих указанных выше частных задач раскрыто в работах [2, 10, 15, 16] и далее будет указываться обобщенно.

3. Формирование оценки качества

Как указано в п. 2 предыдущего раздела, в договоре между заказчиком и исполнителем фиксируется набор компонент (частных оценок качества) векторной оценки качества y , автоматически создаваемых техническими средствами ЦОВ. Вопрос состава и характеристик y , подробно раскрыт в работах [2, 10]. Здесь отметим только то, что оценка качества ЦОВ может быть как скалярной y (наиболее часто она при этом отражает долю обслуженных ЦОВ за отчетный период вызовов – см. работу [2]), так и векторной y (см. работы [10, 15, 16]). На практике распространено формирование вектора y из ранговых частных оценок (например, от «2» до «5» по аналогии со школьными и вузовскими оценками). Данный вопрос раскрыт, например, в работах [10, 15]).

4. Обзор подходов к формированию ОПК

Достоверный (в значении, указанном в справочнике [12]) обобщенный показатель качества должен учитывать не только и не столько взгляды ЛПР заказчика услуг ЦОВ на те частные показатели качества и их взаимосвязи, которые важны для него, а в первую очередь учитывать (непосредственно или опосредованно) интересы и потребности клиентов, вызовы которых обслуживает ЦОВ. То есть в терминах п. 1 x должен быть как можно ближе к y .

Один из наиболее распространенных методов скаляризации векторной оценки качества в обобщенный показатель качества (далее – ОПК) заключается в построении ОПК с помощью линейной свертки, т. е. суммирования компонент y с заданными удельными весами. Данный метод всесторонне исследован в работе [17]. В силу широкой распространенности он имеет множество названий. Далее для единообразия используется введенное в работе [17] название «Метод взвешенной суммы критериев» (МВСК). Применение МВСК к объекту исследования рассмотрено автором в работе [15], а в работе [16] автор показывает практический пример применения ОПК МВСК для оценки качества реально существующего ЦОВ ресурсоснабжающей организации на протяжении 24-х месяцев.

Вместе с тем, в работах [10, 15] показаны объективные недостатки МВСК, которые в значительном количестве практических случаев, в том числе и применительно к оценке качества ЦОВ, приводят к существенному искажению структуры предпочтений ЛПР. В работе [15] предложена научно обоснованная альтернатива, учитывающая некомпенсаторный характер предпочтений ЛПР (стандартная для данной задачи ситуация) – ОПК, построенный методом некомпенсаторного порогового агрегирования. Развернутое описание МНПА, включая аксиоматику и математический аппарат можно найти в работе [18] и других работах создателя МНПА в законченном виде – В.В. Чистякова. В работе [10] теоретически исследованы и эмпирически подтверждены его преимущества перед ОПК МВСК по различным критериям. В работах [9, 33] помимо МВСК описан еще один вид обобщающей функции, потенциально пригодной для построения ОПК – метод степенной мультипликативной свертки, занимающий промежуточное положение между ОПК МВСК и ОПК МНПА по степени

отражения некомпенсаторных предпочтений ЛПР. Описание указанных методов и их сравнение по одному из критериев производится, в частности, в работе [26].

Конечным результатом построения ОПК независимо от выбранного метода и основанной на нем методики является определение функциональной зависимости $q(y)$, преобразующей вектор частных оценок качества в численное значение ОПК, определенное на интервале $[0; 1]$. В указанном выше частном случае перехода к ранжированным частным оценкам качества значение q будет конечнозначным – то есть определяться по порядковой шкале. Так как выбор конкретного метода и методики построения ОПК не является предметом настоящей работы, далее функциональная зависимость $q(y)$ не анализируется, и численное значение ОПК q рассматривается как независимая переменная.

5. Формирование оценки эффективности обработки информации в ЦОВ

Удовлетворенность ЛПР заказчика полученными от поставщика услугами ЦОВ обобщает как достигнутое значение ОПК услуг, так и их ресурсозатратность. Количественной мерой удовлетворенности заказчика ресурсозатратностью услуг служит экономия $e(q)$ (см. определение из таблицы 1). При этом так же, как и для ОПК, заказчик равно не заинтересован как в максимальной, так и в минимальной экономии. Очевидно, что максимальной экономии отвечает минимальное качество ($q = 0$), что не устраивает заказчика по определению. Нулевой экономии отвечает максимальное (избыточное) качество, что вызывает избыточные расходы для заказчика. Поэтому реальной целью ЛПР заказчика (см. работу [9]) для численного значения экономии является ее значение, соответствующее ОПК $q \approx 0,5$ (данный вопрос подробно изложен в работе [2]).

Например, в отношении ОПК услуг обработки информации в ЦОВ для службы «117» (см. материалы [19]) это означает следующее. Заказчик будет вполне удовлетворен средним по периоду действия договора значением ОПК, предположим, в диапазоне $q \in [0,45; 0,55]$. В случае непредвиденных изменений внешних обстоятельств (например, объявление частичной мобилизации или изменение порядка несения службы по контракту) нагрузка на ЦОВ службы «117» на некоторое время (1–2 месяца) резко возрастет, и задачей поставщика будет обеспечивать хотя бы минимально приемлемое качество обработки информации ($q = 0$). Однако, минимальное качество обработки информации неприемлемо для заказчика как постоянное. То же относится и к значению $q = 1$. Заказчик готов к временному повышению качества до максимального (например, краткосрочная стабилизация текущей оперативной обстановки на СВО, минимизирующая обращения в службу «117») Однако, аналогично $q = 0$, значение $q = 1$ неприемлемо для заказчика как постоянное из-за слишком высоких расходов на обработку информации в ЦОВ.

Таким образом, ЛПР оценивает эффективность обработки информации в ЦОВ путем соотношения значения ОПК за прошедший месяц и соответствующего данному значению ОПК значения экономии, в скалярную величину, определяющую кардинальные (то есть количественные – см. работы [9, 11, 20, 21])

предпочтения ЛПР: «...Кардинальная полезность в неоклассическом контексте описывает силу предпочтения, т.е. определяет не только иерархию предпочтений, но и их интенсивность ...». В данном случае это означает величину удовлетворенности ЛПР заказчика обработкой информации в ЦОВ за прошедший месяц (например, определенную в диапазоне $[0; 1]$). Условия, которым должна удовлетворять кардинальная оценка качества, подробно раскрыты, например, в работе [21]. Введем функцию v :

$$v = f(q, e). \quad (1)$$

Определенная таким образом величина v – скалярный обобщающий показатель – широко используется в различных областях науки под различными названиями с единой сущностью. Например, в теории принятия решений такой показатель может называться обобщающей функцией [9, 33] или функцией ценности [11, 20, 21]. Вместе с тем, в работах по микроэкономике (например, [22, 23] аналогичная функция называется функцией полезности. Далее предполагается решение задачи выбора в условиях определенности (если не указано иное). Соответственно, для v далее используется определение из работы [11] – функция ценности обработки информации в ЦОВ, или просто функция ценности.

В соответствии с классификацией из работы по теории принятия решений [24], ОПК q является целевым показателем решения задачи оптимизации (см. введение), а экономия $e(q)$ – ресурсным. Соответственно, определенная согласно формулы (1) функция ценности v , объединяющая q и $e(q)$, определяет ценность как экономическую эффективность обработки информации [24].

В микроэкономике (см. работу [25]) функционально идентичный метод, определяющий функцию полезности обработки информации (совпадающую с точностью до определения с функцией ценности из работы [11]), определен как гедонический и отражает согласно [25] взаимосвязь цены обработки информации с набором ее потребительских качеств. Из раскрытых выше определений x , y , q следует, что q в данном случае является опосредованной (через корреляцию x и y и агрегацию $y \rightarrow q$) объективной оценкой истинного (субъективного) качества обработки информации, то есть в данном случае – набором потребительских качеств услуги обработки информации в ЦОВ.

Таким образом $v(q)$ определяется как функция ценности, обобщающая значения ОПК услуг обработки информации в ЦОВ и экономии на цене единицы услуг с достигнутым значением ОПК. Данное определение подкрепляется практикой из двух областей науки: теория выбора и микроэкономика.

Так как в границах исследования определена реальная цель заказчика «получить одновременно значения ОПК и экономии на цене единицы обработки информации, лежащие в середине диапазона их возможных значений», численное значение критерия эффективности в предлагаемой форме функции ценности v отражает степень одновременной близости обоих соотносимых аргументов к реальной цели заказчика. В терминах работ [9, 33] представленный критерий эффективности является функцией достижения реальной цели заказчика, то есть целевой функцией (см. ниже).

6. Функциональный анализ эффективности обработки информации в ЦОВ

Как указано в предыдущем разделе, оценку эффективности обработки информации в ЦОВ $v(q)$ предлагается строить в виде функции ценности (в значении соответственно работам [11, 20, 21]). Ни в данных работах, ни в работах [22, 23, 25] не содержится указаний на то, что значения показателей, которые агрегирует функция ценности, не могут быть связаны функциональной зависимостью. Следовательно, построение функции ценности по формуле (1) допустимо. Так как согласно обозначений из таблицы 1 e является функцией q , формально функция ценности будет функцией одной переменной: $v = f(q, e(q)) = f(q)$. Однако, пока функциональная зависимость $e(q)$ не определена, далее (если не указано иное) будем записывать v как функцию двух переменных: $v(q, e)$.

Следующей после выбора и обоснования состава функции ценности задачей является выбор и обоснование вида $f(q, e)$. Для этого рассмотрим взаимную зависимость q, e по предпочтению, определив качественно вид кривых безразличия $v = \text{const}$ (см. работы [9, 11]). Следует особо подчеркнуть, что зависимость (независимость) по предпочтению аргументов функции ценности отнюдь не является характеристикой функциональной зависимости (независимости) одного из аргументов от другого, а только лишь отражает взаимное влияние изменений каждого из аргументов на предпочтения ЛПР. Данный вопрос подробно раскрыт в работе [11].

Как указывалось выше, реальной целью ЛПР является получение услуг ЦОВ со значением $q \approx 0,5$ и соответствующим значением экономии e , не равным ни 0, ни 1. При q , близком к 0, для ЛПР приоритетно повышение качества обработки информации в ЦОВ, и он готов платить больше за прирост оценки качества, чем в случае $q \approx 0,5$. При q , близком к 1, для ЛПР приоритетнее экономия, поскольку реальная цель уже достигнута. Соответственно, в данном случае ЛПР готов платить за прирост по q меньше, чем в случае $q \approx 0,5$. В крайних точках $q = 0$ и $q = 1$ ценность обработки информации в ЦОВ для ЛПР равна 0: при $q = 0$ – за счет минимального качества; при $q = 1$ – за счет максимальной цены.

В работе [11] вводится понятие предельного коэффициента замещения $\lambda(x^*, y^*)$ между аргументами x, y функции ценности $v(x, y)$ в произвольной точке $\{x = x^*; y = y^*\}$ внутри области определения x и y :

$$\lambda(x^*, y^*) = -\frac{dx}{dy}.$$

Из вышесказанного следует, что предельный коэффициент замещения между e и q не является постоянным, но монотонно убывает. Как указано в работе [9], для указанного вида предпочтений заказчика уровни безразличия $v(q, e)$ отображаются монотонно убывающими выпуклыми вниз кривыми, что подразумевает мультипликативную степенную обобщающую функцию вида:

$$\begin{cases} \alpha, \beta > 0; \\ \alpha + \beta = 1; \\ v(q, e) = q^\alpha e^\beta. \end{cases} \quad (2)$$

В микроэкономике данный вид обобщающей функции широко распространен под названием функции полезности Кобба – Дугласа (см. работы [22, 23]). Здесь α и β – это численные оценки относительной важности q и e для ЛПР. В распространенном частном случае, когда q и e равно важны для ЛПР (либо ЛПР затрудняется определить их относительную важность):

$$\begin{cases} \alpha = \beta = 0,5; \\ v(q, e) = \sqrt{qe}. \end{cases} \quad (3)$$

Так как

$$\begin{cases} q, e(q) \in [0; 1]; \\ e(0) = 1; \\ e(1) = 0, \end{cases}$$

то $v(q, e) \in [0; v_{\max} < 1]$, где $v_{\max} = \max(v)$ для всех $q, e \in [0; 1]$.

7. Функциональная зависимость цены единицы обработки информации от значения ОПК

Описанная выше последовательность процедур по определению структуры и вида функции ценности основана исключительно на качественном анализе баланса предпочтений заказчика между q и e . То есть e до сих пор определялась в общем виде, только как показатель ординальной (т. е. относительной) ценности q для ЛПР:

для $q < 0,5$: $e_1 > e_2 \leftrightarrow q_2 > q_1$; для $q > 0,5$: $e_1 > e_2 \leftrightarrow q_1 > q_2$.

При этом для расчета значений оценки эффективности обработки информации в ЦОВ, соответствующих тем или иным значениям ОПК, необходима конкретизация количественных предпочтений ЛПР в отношении q . В данном случае это означает явное определение функции $c(q)$ и связанной с ней линейным преобразованием экономии $e(q)$. Определим функцию $c(q)$ в следующей последовательности:

- необходимое условие формы функциональной зависимости $c(q)$;
- достаточное условие формы функциональной зависимости $c(q)$;
- формула функции ценности $v(q, e)$ в соответствии с формой функциональной зависимости $c(q)$;
- проверка функции $v(q, e)$ на соответствие поставленной цели.

7.1. Необходимое условие вида функции цены единицы обработки информации

Аргументами функции ценности v являются значения q и e . По определению e является линейным преобразованием цены единицы услуги $c(q)$, выра-

женной в денежном измерении (см. таблицу 1). В работе [11] описан метод, названный ее авторами «Готовность заплатить», применимый для функций ценности, одним из аргументов которых является стоимостной показатель, выраженный в денежном измерении. Этот стоимостной показатель назван авторами работы [11] «Денежный критерий» (следует отметить, что в указанной работе термин «критерий» употребляется в значении, соответствующем стандартному термину «показатель»). Следовательно, в данной терминологии $c(q)$ является «денежным критерием», и к функции ценности выбранного состава можно применить метод «Готовность заплатить». В работе [11] указаны два необходимых условия применимости данного метода:

- «...1) денежный критерий, взятый вместе с любым одним из остальных критериев, не зависит по предпочтению от дополняющего множества критериев;
- 2) предельный коэффициент замещения для денежного и любого другого критерия функционально не зависит от значений денежного критерия».

Согласно формуле (1) у функции ценности два аргумента: «денежный критерий» и значение ОПК. Следовательно, первое из указанных в цитате условий выполняется по определению. Для анализа второго необходимого условия рассмотрим предельный коэффициент замещения для функции ценности $v(q, e)$. Для компактности опустим (x^*, y^*) :

$$\lambda = -\frac{dx}{dy}; \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\lambda}.$$

Обозначим $\mu = -\frac{1}{\lambda}$ и заменим x на q ; y на $c(q)$. Тогда $\mu = \frac{dc(q)}{dq}$.

Следовательно, второе необходимое условие выглядит как $\lambda = const$ на всей области определения q и $c(q)$. Из этого следует $\mu = const$ также на всей области определения q и $c(q)$. Единственный вид функции, удовлетворяющий данному условию – линейная зависимость $c(q) = aq + b$. Из условий:

$$\begin{cases} c(q) = aq + b; \\ c(q) \in [c_{min}; c_{max}]; \\ q \in [0; 1] \end{cases}$$

получаем:

$$c(q) = c_{min} + q(c_{max} - c_{min}); \tag{4}$$

$$e(q) = \frac{c_{max} - c_{min} - q(c_{max} - c_{min})}{c_{max} - c_{min}} = 1 - q. \tag{4a}$$

Следовательно, линейная зависимость $c(q)$ является необходимым условием применимости предлагаемого в настоящей работе метода формирования оценки эффективности обработки информации в ЦОВ. Здесь следует особо отметить, что, безотносительно конкретного вида функции $c(q)$, определение заказчиком желаемой (предпочтительной) зависимости ресурсозатратности обработки информации в ЦОВ (то есть, цены единицы услуги обработки информации в ЦОВ) от значения интегрального критерия качества в рамках рассматриваемой модели обработки информации в ЦОВ относится к управленческим

решениям заказчика (независимо от выбранного функционального вида данной зависимости). Выше предложена научно обоснованная методика определения зависимости $c(q)$, а именно – обоснован ее линейный вид. Так как разработка научно обоснованной методики по определению есть продукт интеллектуального труда, здесь обеспечивающий принятие управленческого решения, а ЦОВ в рамках рассматриваемой модели рассматривается как система автоматического управления (см. работу [1]), то есть техническая система, результатом данного раздела является разработка методики интеллектуальной поддержки принятия управленческого решения в технической системе.

7.2. Достаточное условие вида функции цены единицы услуги

Достаточным условием применимости выбранной формы функциональной зависимости $v(q, e) := v(q)$ будет его соответствие условиям, накладываемым на кардинальную оценку качества, которой (см. выше) должна являться $c(q)$. В соответствии с работами [20, 21], кардинальной, в частности, будет оценка, соответствующая положительно-разностной структуре предпочтений (для выбранного диапазона значений ОПК $q \in [0; 1]$):

$$\begin{aligned} &\text{Для всех } q_i \in [0; 1]; i \in \{1, 2, 3, 4\} \text{ и } q_1 > q_2; q_3 > q_4: \\ &c(q_1) - c(q_2) > c(q_3) - c(q_4) \leftrightarrow (q_2 \rightarrow q_1) \succ (q_4 \rightarrow q_3). \end{aligned} \quad (5)$$

То есть если разница в ценах единицы услуги ЦОВ со значениями q_2 и q_1 больше, чем разница в ценах единицы услуги ЦОВ со значениями q_4 и q_3 , для ЛПР заказчика предпочтительнее (по качеству услуг ЦОВ) переход от значения ОПК q_2 к значению ОПК q_1 , чем аналогичный переход от значения ОПК q_4 к значению ОПК q_3 .

В работе С.В. Микони [33] приводятся описания различных шкал измерений показателей качества (альтернатив). Из приведенного выше описания положительно-разностной структуры предпочтений ЛПР заказчика следует, что ОПК q должен определяться на шкале отношений.

В случае линейной зависимости $c(q)$, описанной формулой (4), заданное формулой (5) условие выполняется по определению. Следовательно, линейная зависимость $c(q)$ является достаточным условием применимости предлагаемой методики формирования показателя эффективности обработки информации в ЦОВ.

7.3. Явный вид функции ценности

Из пп. 7.1 и 7.2 следует, что линейная зависимость $c(q)$ является необходимым и достаточным условием применимости предлагаемого в настоящей работе метода. Таким образом решена прямая задача обоснования выбранного вида v : функции $v(q)$ и $c(q)$ определены, существуют и практически применимы в практических задачах оценивания качества. С учетом формулы (4а) функцию ценности, описанную формулами (1), (2), можно записать в явном виде как функцию одной переменной q :

$$\begin{cases} \alpha, \beta > 0; \\ \alpha + \beta = 1; \\ v(q) = q^\alpha (1-q)^\beta; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \alpha = \beta = 0,5; \\ v(q) = \sqrt{q(1-q)}. \end{cases} \quad (6a)$$

На рис. 1 приведен график $v(q)$ для двух случаев: $\alpha = \beta$ (A) и $\alpha = 0,33; \beta = 0,67$ (B). В первом случае график представляет собой полуокружность с $q_{optA} = 0,5$. Симметричный характер графика обусловлен равной значимостью качества и цены услуги для ЛПР. Во втором случае, когда экономия вдвое более значима, чем качество, график несимметричен, и $q_{optB} < 0,5$.

Из формулы (6) непосредственно следует, что:

$$\forall \alpha, \beta > 0 \mid \alpha + \beta = 1 \rightarrow v(0,5) = 0,5.$$

Определим координаты $\{q_{opt}; v_{max}\}$ точки максимума $v(q)$:

$$\frac{dv(q)}{dq} = \frac{d(q^\alpha (1-q)^\beta)}{dq} = q^{\alpha-1} (1-q)^{\beta-1} [\alpha(1-q) - \beta q];$$

$$\frac{dv(q)}{dq} = 0 \rightarrow q^{\alpha-1} (1-q)^{\beta-1} [\alpha(1-q) - \beta q] = 0 \rightarrow q_{opt} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = \alpha; \quad (7)$$

$$v_{max} = q_{opt}^\alpha (1 - q_{opt})^\beta = \alpha^\alpha \beta^\beta;$$

$$\{q_{opt}; v_{max}\} = \{\alpha; \alpha^\alpha \beta^\beta\}.$$

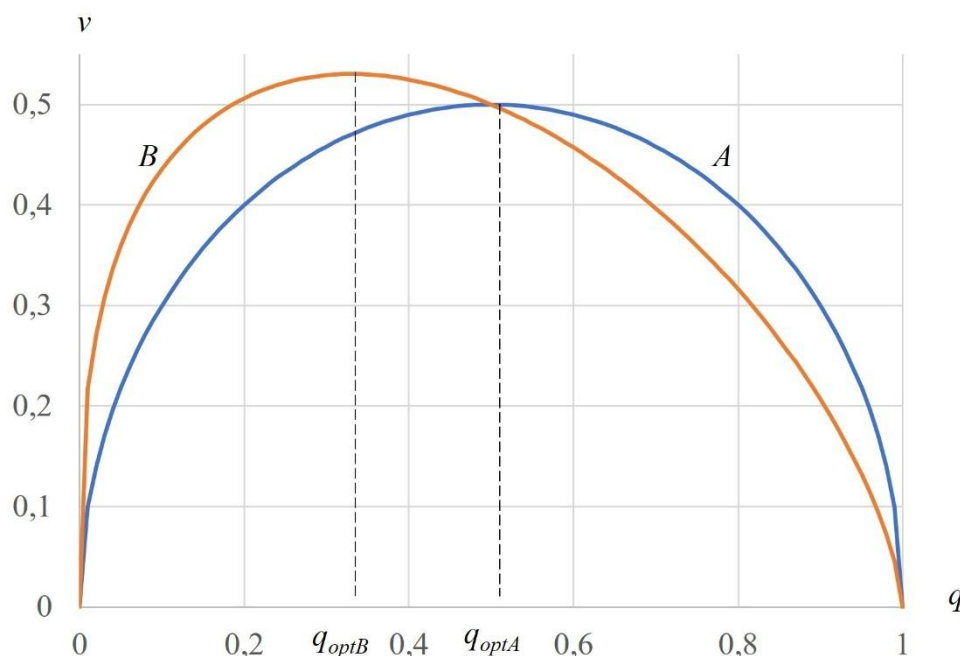


Рис. 1. Графики показателя эффективности для случаев A ($\alpha = \beta$) и B ($\alpha = 0,33; \beta = 0,67$)

Для практического использования функции ценности удобно нормировать ее к диапазону значений $[0; 1]$. Для общего случая, определенного формулой (6):

$$v^*(q) = \frac{v(q)}{v_{\max}} = \frac{q^\alpha (1-q)^\beta}{\alpha^\alpha \beta^\beta} = \left(\frac{q}{\alpha}\right)^\alpha \left(\frac{1-q}{\beta}\right)^\beta. \quad (8)$$

Для частного случая, определенного формулой (6а):

$$v^*(q) = 2\sqrt{q(1-q)}. \quad (8a)$$

7.4. Соответствие вида функции цены единицы услуги поставленной цели

Для проверки соответствия указанных результатов поставленной цели решим обратную задачу: приняв гипотезу о применимости состава и функциональной зависимости v , описанной формулами (6), (6а), проверим, какое математическое ожидание значения функции ценности обработки информации в ЦОВ при разных видах функции $c(q)$ можно получить в реальной практике взаимоотношений заказчика и поставщика обработки информации в ЦОВ, построенных методом «Экономическая эффективность управления качеством», описанным в работе [14]. Описание данного метода и построенная на его базе математическая модель взаимоотношений заказчика и поставщика обработки информации в ЦОВ для частного случая одномерной оценки u качества обработки информации в ЦОВ ($q \equiv y$) приведено в работе [4]. В указанной работе по итогам моделирования для различных гипотез о степени рациональности поставщика обработки информации в ЦОВ и функциональной зависимости себестоимости обработки информации в ЦОВ для поставщика от значения оценки качества показано, что линейная зависимость $c(q) \equiv c(y)$ Парето-доминирует над иными видами функциональной зависимости по критериям максимума математического ожидания эффективности обработки информации в ЦОВ и минимума ее дисперсии. Для подтверждения ниже приводятся таблицы результатов моделирования из работы [2] для трех вариантов рациональности поставщика, усредненные по пяти моделируемым гипотезам о виде функции себестоимости обработки информации. В таблицах 2, 3 приводятся значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения случайных величин V_1 и V_2 – эффективности обработки информации в ЦОВ, описываемой формулой (6) (с некоторыми дополнительными параметрами для более адекватного отражения практики предоставления обработки информации в ЦОВ), построенных для линейной и квадратичной зависимости $c(q) := c(y)$ соответственно.

Таблица 2 – Результаты моделирования: строго рациональный поставщик.

Усреднение по реализациям

$M(V_1)$	$\sigma(V_1)$	$M(V_2)$	$\sigma(V_2)$
0,56	0,003	0,27	0,25

Таблица 3 – Результаты моделирования: ограниченно рациональный поставщик. Усреднение по реализациям

$M(V_1)$	$\sigma(V_1)$	$M(V_2)$	$\sigma(V_2)$
0,49	0,108	0,47	0,133

Таблица 4 – Результаты моделирования: нерациональный поставщик

$M(V_1)$	$\sigma(V_1)$	$M(V_2)$	$\sigma(V_2)$
0,46	0,125	0,47	0,132

Можно показать, что аналогичные результаты достигаются также в общем случае векторной оценки качества обработки информации в ЦОВ у. Таким образом, необходимый и достаточный вид функции $c(q)$, научно обоснованный выше, соответствует поставленной цели, что подтверждается результатами его моделирования с модельными условиями, свойственными практике оказания услуг ЦОВ на реальном рынке.

В завершение данного раздела следует отметить, что функция ценности для вариантов ограниченно рационального и нерационального поставщика, в отличие от варианта абсолютно рационального поставщика, будет случайной величиной. Поэтому отношение предпочтения

$$M(V_1) > M(V_2) \wedge \sigma(V_1) > \sigma(V_2) \rightarrow V_1 \succ V_2$$

будет заведомо корректным только в частном случае, когда выполняется условие для функций распределения V_1 и V_2 : $F(V_1) \leq F(V_2)$ на всей области определения V_1, V_2 (которая, вообще говоря, при этом должна быть одинаковой для обеих случайных величин) – см., например, работу [11]. Для нахождения отношения предпочтения между стохастическими альтернативами V_1, V_2 в общем случае следует использовать методы теории полезности. Для данной цели в работе [11] предложен метод, названный ее авторами «Использование функции ценности при построении функции полезности» (в настоящем случае – функции полезности $u(V)$). В рамках данного метода необходимо сначала построить функции полезности для параметра эффективности $u(v_1), u(v_2)$ и сравнивать значения детерминированных эквивалентов полезности \hat{v}_1, \hat{v}_2 для случайных величин V_1, V_2 :

$$\hat{v}_1 = u^{-1}(M(u(v_1))); \hat{v}_2 = u^{-1}(M(u(v_2))).$$

Аналогично, вместо СКО $\sigma(V_1), \sigma(V_2)$ следует сравнивать СКО $\sigma(U_1), \sigma(U_2)$ случайных величин $U_1 = u(V_1); U_2 = u(V_2)$. Вместе с тем, результаты моделирования \hat{v}_1, \hat{v}_2 для указанных выше модельных условий и экспоненциального вида функции ценности $u(v(q))$, вполне отражающего реальные предпочтения ЛПР с убывающей несклонностью к риску (см. работу [11]), показывают, что \hat{v}_1, \hat{v}_2 отличаются от $M(V_1), M(V_2)$ менее чем на 1% (причем, в одну и ту же сторону), что по порядку величины совпадает с погрешностью моделирования. Аналогичные соотношения выполняются и для $\sigma(U_1), \sigma(U_2)$. Соответственно, указанные выше выводы, основанные на сравнении пар значений $\{M(V_1); \sigma(V_1)\}$ и $\{M(V_2); \sigma(V_2)\}$ без построения функции ценности $u(V)$, вполне корректны для всех трех рассмотренных вариантов рациональности поставщика услуг ЦОВ.

8. Оптимизация качества обработки информации ЦОВ. Критерии эффективности обработки информации в ЦОВ для оптимального и квазиоптимального качества

Как указывалось во введении, научное обоснование вида функции ценности производится для формирования критерия эффективности обработки информации в ЦОВ. Разработка указанного критерия дает ЛПР заказчика услуг ЦОВ возможность теми или иными методами оптимизировать ожидаемое значение ОПК по критерию эффективности обработки информации в ЦОВ.

Как следует из определений, раскрытых во введении и таблице 1, оптимальным значением (идеальной целью ЛПР в терминах работы [9]) является получение значения ОПК q_{opt} , соответствующего максимуму функции ценности v_{max} . Значения q_{opt} и v_{max} могут быть найдены по формуле (7). Однако, на практике достижение идеальной цели ЛПР в большинстве случаев либо не представляется возможным, либо расходы на строгое решение задачи оптимизации (т. е. достижение идеальной цели) превышают положительный эффект от ее достижения.

Как указано в работе [1], поток вызовов, поступающих в ЦОВ и обрабатываемых операторами, является случайным потоком событий – причем, как проиллюстрировано в работе [15], на практике существенно нестационарным. Соответственно, заказчик не сможет получить желаемую услугу обработки информации в ЦОВ с точно определенным и постоянным каждый отчетный период значением ОПК и строго соответствующим ему значением цены единицы услуги c , одновременно достигающими идеальной цели заказчика. То есть значение ОПК q_{opt} в данном случае недостижимо. Данный вопрос раскрыт в работах [1, 2] при формализации степени рациональности поставщика: абсолютно рациональный поставщик, обеспечивающий строго постоянное значение ОПК q независимо от конкретной реализации случайного процесса поступления вызовов в ЦОВ, является нереализуемой на практике идеализацией. Поэтому в рамках целевой (см. работы [1, 2]) модели ограниченно рационального поставщика заказчик не стремится получить строго оптимальное значение ОПК q_{opt} , а позволяет поставщику самому стремиться к некоему желаемому для поставщика значению ОПК, обеспечивающую поставщику прибыль, достаточно (по самостоятельно вводимому поставщиком критерию) близкую к максимально возможной. В рамках рассматриваемой модели, как указано в работе [1], указанный подход позволяет заказчику получить некое значение эффективности обработки информации, достаточно близкое к максимально возможному, без приложения каких-либо собственных усилий (непосредственно – расходования каких-либо собственных ресурсов; опосредованно – несения дополнительных затрат) исключительно за счет экономической стимуляции поставщика в рамках указанного выше метода.

Соответственно словарю [12], наречие «почти» выражается в научной литературе приставкой «квази...». Следовательно, корректно определить достигаемое в рамках описанного выше метода значение ОПК, обеспечивающее «по-

чти» максимальное значение эффективности обработки информации, как квазиоптимальное. В научной литературе широко используется понятие квазиоптимальности в аналогичном (с точностью до смысла) вводимому автором значении. Примером могут служить работы [27–31].

Здесь требуется определить количественное значение «почти», то есть в явном виде описать критерий достижения квазиоптимального значения ОПК (реальной цели ЛПР в терминах работы [9]), которое может быть достигнуто без дополнительных расходов на оптимизацию, но при этом будет достаточно близко к идеальной цели ЛПР. Например, как показано в работе [2], за счет применения заказчиком метода «Экономическая эффективность управления качеством» можно без дополнительных затрат заказчика, только лишь за счет экономической стимуляции поставщика, получить эффективность обработки информации в ЦОВ, достаточно (для ЛПР) близкую к максимальной. Из этого следует, что указанный критерий должен быть мерой «близости» достигаемой реальной цели к идеальной.

Определим некоторое достаточно малое значение $\varepsilon \ll 1$ – порог чувствительности заказчика к «неидеальности» достигнутой цели. Например, для большинства практических применений можно выбрать $\varepsilon = 0,1$. Тогда достигнутое значение ОПК можно считать квазиоптимальным, если для нормированной функции ценности, описанной формулами (8), (8а) выполняется условие:

$$v^*(q) > 1 - \varepsilon.$$

Использование данного критерия в рамках рассматриваемой модели проиллюстрировано на рис. 2. Кривая $p^*(q)$ отображает нормированную к диапазону $[0; 1]$ прибыль поставщика услуг обработки информации в ЦОВ (далее – поставщик). Поставщик исходя из своих экономических интересов, оказывает услуги обработки информации в ЦОВ со значением ОПК $q_{\text{копт}}$, которое максимизирует его прибыль: $q_{\text{копт}} = \arg(p^*(q) = 1)$.

При этом значение $v^*_{\text{копт}} = v^*(q_{\text{копт}})$ лежит выше линии $v^*_{\text{пор}} = 1 - \varepsilon$. Следовательно, достигнутое значение ОПК квазиоптимально.

Выводы

Представленная методика позволяет оптимизировать качество обработки информации в ЦОВ на основе научно обоснованного показателя (критерия) эффективности обработки информации в ЦОВ и определяет в явном виде пороговое значение квазиоптимального качества и эффективности обработки информации в ЦОВ.

Элементами новизны представленного решения являются использование функции ценности как критерия эффективности обработки информации в ЦОВ, научное обоснование состава и вида функциональной зависимости функции ценности, а также научное обоснование и валидация необходимого и достаточного вида функциональной зависимости цены единицы обработки информации в ЦОВ от значения ОПК.

Наиболее близкими к описанной методике являются методы теории ценности и полезности применительно к поставленной экономической задаче, описанные в работах [9, 11, 33]. Однако, в указанных работах приводится лишь ме-

тодология решения задач выбора и принятия решений в общем виде, без конкретизации и обоснования применимости конкретных инструментов для решения описанной в настоящей работе задачи.

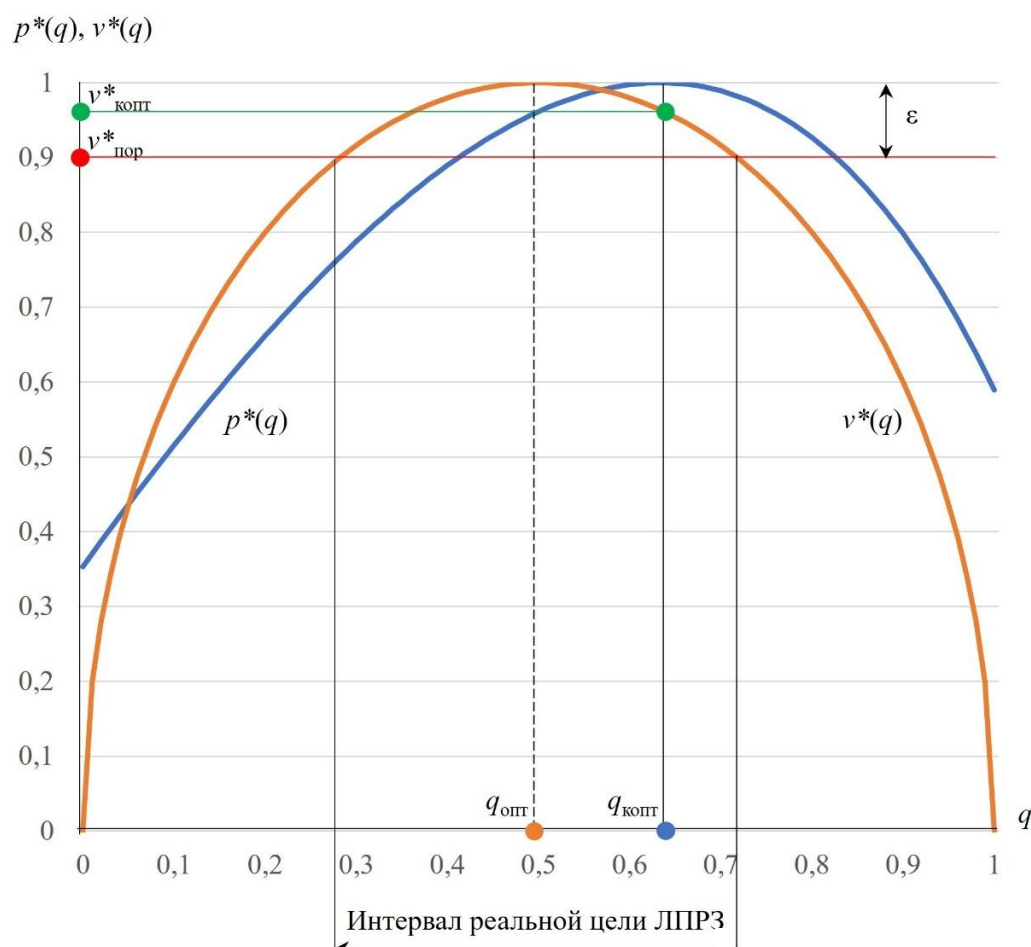


Рис. 2. Квазиоптимальное значение ОПК, достигаемое в рамках рассматриваемой модели

Представленная методика универсальна в отношении выбора и нормировки частных оценок качества как на ранговых (после линейного пересчёта в интервальную шкалу), так и на иных шкалах, а также в отношении метода скаляризации частных оценок качества в ОПК.

В дальнейшем планируется развитие представленной методики для широкого круга задач оценки эффективности для заказчика обработки информации, стоимость которых зависит от их качества, широко распространенных в различных сферах хозяйственной деятельности, административного управления, образования, здравоохранения и многих других.

Литература

1. Касаткин Ф. Ю. Модель взаимоотношений заказчика и поставщика обработки информации центра обработки вызовов для оптимизации качества обработки информации // Системы управления, связи и безопасности. 2026. № 1. С. 48-85. DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-048-085.

2. Касаткин Ф. Ю. Об эффективном виде функции качества во взаимоотношениях заказчика и поставщика продукции военного назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 3. С. 232-268. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-232-268.

3. Герасимов Б. И., Попова Г. Л., Злобина Н. В. Основы теории системного анализа: качество и выбор: учебное пособие. – Тамбов: ТГТУ, 2011. 80 с.

4. Хачатуров А. Е., Куликов Ю. А. Основы менеджмента качества: учеб. пособие. – М.: Дело и Сервис, 2003. – 304 с.

5. ГОСТ Р 55540–2013 Качество услуги «услуга центра обработки вызовов». Показатели качества. – М.: Стандартинформ, 2014. – 11 с.

6. Самолубова А. Б. Call-Center на 100 %. Практическое руководство по созданию Центра обработки вызовов. – М.: Альпина Паблишер, 2010. – 533 с.

7. 11 Essential Call Center Metrics and KPIs [Электронный ресурс]. 18.04.2026. – URL: <https://www.yorber.com/advisor/business/soyftware/call-center-metrics/> (дата обращения: 18.04.2026).

8. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 23 с.

9. Микони С. В. Теория принятия управленческих решений: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2015. 448 с.

10. Касаткин Ф. Ю. Некомпенсаторная интегральная оценка качества работы центров обработки вызовов // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 4. С. 200-243. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-4 200-243

11. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. Пер. с англ. под ред. И. Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

12. Макаренко С. И. Справочник научных терминов и математических обозначений. – СПб.: Научное издание, 2025. – 348 с.

13. ван Эттингер Дж., Ситтиг Дж. Больше ... через качество. – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 92 с.

14. Аристов О. В. Управление качеством: Учебное пособие для вузов. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 240 с.

15. Касаткин Ф. Ю. Актуальность интегральной оценки качества обслуживания входящих вызовов в контакт-центре // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 томах. Том 4. – СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 81-87.

16. Касаткин Ф. Ю. Интегральный критерий качества обслуживания входящих вызовов в контакт-центре // Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения: сборник статей Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17 февраля 2025 года. – Уфа: ООО "ОМЕГА САЙНС", 2025. – С. 22-27.

17. Подиновский В. В., Потапов М. А. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: Pro et Contra // Бизнес-информатика. 2013. № 3 (25). С. 41–48.

18. Aleskerov F. T., Chistyakov V. V., Kalyagin V.A. Social threshold aggregations // *Social Choice and Welfare*. 2010. Vol. 35. № 4. P. 627–646.
19. Официальный Телеграм-канал Министерства обороны РФ [Электронный ресурс]. 26.03.2026. – URL: https://t.me/mod_russia/24565 (дата обращения 18.04.2026).
20. Шумейкер П. Модель ожидаемой полезности: разновидности, подходы, результаты и пределы возможностей // *Thesis*. 1994. № 5. С. 29–80.
21. Krantz D. H., Luce R. D., Suppes P., Tversky A. *Foundations of Measurement. Volume I. Additive and Polynomial Representations*. – London: Academic Press, 1971. – 577 p.
22. Шимановский Д. В. Микроэкономическое моделирование и системный анализ: учебное пособие. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2022. – 131 с.
23. Симкина Л. Г. Микроэкономика: учебное пособие. 2-е изд. – М.: КНОРУС, 2013. 360 с.
24. Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. – М.: РАН, 2018. – 314 с.
25. Матвеев В. Д. Свойства функций полезности, зависящих от характеристик благ // *Вестник УрФУ. Серия «Экономика и управление»*. 2012. № 2. С. 16–27.
26. Касаткин Ф. Ю. Энтропийный показатель и его количественная оценка для различных методов свертки частных показателей в интегральный критерий качества // *Вестник СПбГУТ*. 2025. Т. 3. № 4. С. 5.
27. Фитасов Е. С., Орлов И. Я., Насонов В. В., Бессонова Е. В., Козлов С. А. Квазиоптимальный проекционный метод доплеровской фильтрации радиолокационных сигналов // *Известия вузов. Радиофизика*. 2019. Т. LXII. № 6. С. 460–468.
28. Блатов И. А., Добробог Н. В. О квазиоптимальности метода конечных элементов Галеркина для сингулярно возмущенных краевых задач на сетках Шишкина // *Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия*. 2007. № 6 (56). С. 115–132.
29. Горчаков А. В. Квазиоптимальные алгоритмы вейвлет обработки сигналов и изображений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
30. Нейдорф Р. А., Чан Н. Н. Композиционный синтез квазиоптимальных по быстродействию систем управления высокого порядка // *Вестник ДГТУ*. 2007. Т. 7. № 4 (35). – С. 97–104.
31. Горский М. А. Теоретический подход и численный метод поиска квазиоптимального решения нелинейной дискретной задачи большой размерности // *Экономический журнал ВШЭ*. 2019. Т. 23. № 3. С. 465–482.
32. Кремлев А. Г. Основные понятия теории игр: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 144 с.
33. Микони С. В. Теория и практика рационального выбора: Монография. – М.: Маршрут, 2004. – 463 с.

References

1. Kasatkin F. Yu. A model of the relationship between the customer and the service provider of the call center to optimize the quality of information processing. *Systems of Control, Communication and Security*, 2026, no. 1, pp. 48-85 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2026-1-048-085
2. Kasatkin F. Yu. On the effective form of quality function in the relationship between the customer and the supplier of military products. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 3, pp. 232–268 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-232-268.
3. Gerasimov B. I., Popova G. L., Zlobina N. V. *Osnovi teorii sistemnogo analiza: kachestvo i vibor* [Fundamentals of the theory of system analysis: quality and choice]. Tambov, Tambov State Technical University Publ., 2011. 80 p. (in Russian).
4. Khachaturov A. Ye., Kulikov Yu. A. *Osnovi menedzhmenta kachestva* [Fundamentals of quality management]. Moscow, Delo i Servis Publ., 2003. 304 p. (in Russian).
5. State Standard 55540-2013. The quality of the "Call Center Service". Quality indicators. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 11 p. (in Russian).
6. Samolyubova A. B. *Call-Center na 100 %*. *Prakticheskoe rukovodstvo po sozdaniyu Tsentra obrabotki vizovov* [Call-Center 100%. A Practical guide to Creating a Call Center]. Moscow, Alpina Publ., 2010, 533 p. (in Russian).
7. 11 Essential Call Center Metrics and KPIs. Available at: <https://www.yorbep.com/advisor/business/soytware/call-center-metrics/> (accessed 18.04.2026).
8. State Standard ISO 9001-2015. Quality Management Systems. Requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 23 p. (in Russian).
9. Mikoni S. V. *Teoriya prinyatiya upravlencheskikh reshenii* [Theory of managerial decision making]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2015. 448 p. (in Russian).
10. Kasatkin F. Yu. The non-compensatory integral quality evaluation of call centers' performance. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 4, pp. 200-243 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916 2025-4-200-243.
11. Keeney R. L., Raiffa H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons Inc., 1976. 569 p.
12. Makarenko S. I. *Handbook of scientific terms and mathematical notation*. Saint Petersburg, Naukoemkie Tehnologii Publ., 2025. 348 p. (in Russian).
13. van Ettinger J., Sittig J. *More ... through Quality*. Rotterdam: International Quality Center, 1965. 174 p.
14. Aristov O. V. *Upravlenie kachestvom* [Quality Management]. Moscow, INFRA-M Publ., 2006, 240 p. (in Russian).
15. Kasatkin F. Yu. The topicality of an integrated assessment of the quality of service of incoming calls in a contact center. *12th International Conference on Advanced Infotelecommunications ICAIT 2023*. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Telecommunications, 2023, vol. 4, pp. 81-87 (in Russian).

16. Kasatkin F. Yu. Integral criteria of quality of service of incoming calls in a contact center. *Innovatsionnie issledovaniya: opit, problemi vnedreniya rezultatov i puti resheniya: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii* [Innovative Research: Experience, Problems of Implementation of Results and Solutions: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Ufa, OMEGA SAINS Co Ltd, 2025, pp. 22-27 (in Russian).

17. Podinovskii V. V., Potapov M. A. Metod vzveshennoi summi kriteriev v analize mnogokriterialnikh reshenii: Pro et Contra [Weighted sum of criteria method in multicriteria decision analysis: Pro et Contra]. *Biznes informatika*, 2013, no. 3 (25), pp. 41-48 (in Russian).

18. Aleskerov F. T., Chistyakov V. V., Kalyagin V. A. Social Threshold Aggregations. *Social Choice and Welfare*, 2010, vol. 35, no. 4, pp. 627–646.

19. The official Telegram channel of the Russian Ministry of Defense. Available at: https://t.me/mod_russia/24565 (accessed 18.03.2026) (in Russian).

20. Paul J. H. Schoemaker. The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations. *Journal of Economic Literature*, 1982, vol. XX, no. 2, pp. 529–563.

21. Krantz D. H., Luce R. D., Suppes P., Tversky A. *Foundations of Measurement. Volume I. Additive and Polynomial Representations*. London, Academic Press, 1971. 577 p.

22. Shimanovskii D. V. Mikroekonomicheskoe modelirovanie i sistemnii analiz [Microeconomic modeling and systems analysis]. Perm, Perm State National Research University Publ., 2022, 131 p. (in Russian).

23. Simkina L. G. *Mikroekonomika. 2-ye izd.* [Microeconomics. 2nd edition]. Moscow, KNORUS Publ., 2013, 360 p. (in Russian).

24. Mikoni S. V., Sokolov B. V., Yusupov R. M. *Kvalimetriya modelei i polimodelnikh kompleksov: monographia* [Qualimetry of models and polymodel complexes: monograph]. Moscow, Russian Academy of Science Publ., 2018, 314 p. (in Russian).

25. Matveenkov V. D. Svoystva funktsij poleznosti, zavisyashhix ot xarakteristik blag [Properties of Utility Functions Depending on the Characteristics of Goods]. *Urals Federal University Bulletin. Economics and Management series*, 2012, no. 2, pp. 16–27 (in Russian).

26. Kasatkin F. Entropy Indicator and Its Quantitative Assessment for Various Methods of Convolution of Partial Indicators into an Integral Quality Criterion. *Herald of SPbSUT*, 2025, vol. 3, no. 4, pp. 5 (in Russian).

27. Fitasov E. S., Orlov I. Ya., Nasonov V. V., Bessonova E. V., Kozlov S. A. Quasioptimal Projection Method of Doppler Radar Signal Filtration. *News of Higher Education Institutes*, 2019, vol. LXII, no. 6, pp. 460–468 (in Russian).

28. Blatov I. A., Dobrobog N. V. On Quasioptimality of the Finite Element Galerkin Method for Singular Perturbation Boundary Value Problems on the Shishkin Mesh. *Samara State University Bulletin – Natural Sciences series*, 2007, no. 6 (56), pp. 115–132 (in Russian).

29. Gorchakov A. V. *Kvazioptimal'nye algoritmy vevlet obrabotki signalov i izobrazhenii*. Dis. kand. tekhn. nauk [Quasi-Optimal Wavelet Algorithms for Signal

and Image Processing. Extended Abstract of Cand. Sci. (Engineering) Thesis]. Novosibirsk, 2013. 19 p. (In Russian).

30. Neidorf R. A., Chan N. N. Kompozitsionnii sintez kvazioptimalnikh po bistrodeistviyu sistem upravleniya visokogo poryadka [Compositional synthesis of quasi-optimal on operating speed control systems]. *Don State Technical University Information Bulletin*, 2007, vol. 7, no. 4 (35), pp. 97–104 (in Russian).

31. Gorskiy M. A. A Theoretical Approach and a Numerical Method for Finding a Quasi-Optimal Solution to a Nonlinear High-Dimensional Discrete Problem. *HSE Economic Journal*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 465–482 (in Russian).

32. Kremlev A.G. *Osnovnie ponyatiya teorii igr* [Basic concepts of game theory]. Yekaterinburg, Urals University Publ., 2016, 144 p. (in Russian).

33. Mikoni S.V. *Teoriya i praktika ratsionalnogo vibora. Monografiya* [Theory and Practice of Rational Choice. Monograph]. Moscow, Marshrut Publ., 2004, 463 p. (in Russian).

Статья поступила 18 апреля 2026 г.

Информация об авторах

Касаткин Феликс Юрьевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Начальник ГБУЗ Запорожской области «Медицинский информационно-аналитический центр». Область научных интересов: теория принятия решений; теория важности критериев; теория управления качеством. E-mail: fkasatkin@yandex.ru

Адрес: 272304, Россия, г. Мелитополь, ул. Фрунзе, д. 69.

Макаренко Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Профессор кафедры информационной безопасности. Финансовый университет при Правительстве РФ. Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство; системы и комплексы вооружения. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

Methods for evaluating the efficiency of information processing in call centers

F. Yu. Kasatkin, S. I. Makarenko

Problem statement: In call centers there is an objective contradiction between the need to improve the quality of service and the desire to minimize costs. The lack of a scientifically based efficiency criterion aggregating the quality of information processing in the Central Bank and the resource consumption of this processing does not allow us to formalize the optimization task in conditions when obtaining a true assessment of the quality of information processing in the Central Bank from customers is difficult, and the relationship between the customer and the provider of information processing services in the Central Bank is a non-zero sum game. **The purpose of the work** is to develop a scientifically based methodology for evaluating

*the effectiveness of information processing in a data center, in the form of a value function that integrates the quality and resource consumption of information processing in a data center, as well as to determine the criterion of quasi-optimality of information processing in a data center, to assess the degree of proximity of the quality of information processing in a data center to optimal without excessive resource costs for a rigorous solution of the optimization problem. **Novelty:** For the first time, it is proposed to use the value function as a criterion for the effectiveness of information processing in a data center, aggregating the common quality indicator (QQ) of information processing in a data center and savings on the unit price of information processing services with the achieved quality level. The type of functional dependence of the price of a unit of service on the defense industry is scientifically substantiated, and a quantitative criterion for the quasi-optimality of the achieved value of the defense industry in a non-strict solution of the optimization problem is introduced. **Result:** A methodology has been developed for calculating the efficiency of information processing in a data center in the form of a value function for equal and unequal importance of the quality and resource consumption of information processing in a data center from the point of view of a decision maker. It is shown that within the boundaries of the study, a linear dependence of the price of a unit of information processing service in the data center on the achieved value of the defense industry is necessary and sufficient. The optimal value of the defense industry is determined as a function of the specific weights (significance) of the quality and resource consumption of information processing in the data center. A quasi-optimality criterion has been developed for non-strict optimization of the quality of information processing in the data center. **Practical significance:** The developed methodology allows the customer of data center services, without additional costs, to receive feedback from customers and to strictly solve the problem of optimizing the quality of information processing, solely through the economic stimulation of the supplier, to ensure a quasi-optimal value of the quality of information processing in the data center. The proposed approach is universal for various scales of measurement of private quality assessments and methods of their scalarization, and is also applicable in other areas where the cost of a service depends on its quality (education, healthcare, administrative management, etc.).*

Keywords: call centers, quality of information processing in call centers, efficiency, value function, quasi-optimality, optimization, integral quality criterion.

Information about the Authors

Feliks Yurievich Kasatkin – candidate for a PhD degree. Head of Zaporozhye region Medical Information and Analytical Center State agency. Field of research: decision theory; criteria importance theory; quality management theory. E-mail: fkasatkin@yandex.ru

Address: 272304, Russia, Melitopol, Frunze str., 69.

Sergey Ivanovich Makarenko – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Professor of Information Security Department. Financial University under the Government of the Russian Federation. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: 197376, Russia, Saint Petersburg, Professor Popov Street, 5.