

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОМПЛЕКСАХ И СРЕДСТВАХ СВЯЗИ

*Долматов Е.А.<sup>1</sup>, Яговитов Д.С.<sup>2</sup>*

**Ключевые слова:** контроль качества, метрика, характеристика, интеллектуальная система, инфокоммуникационная система.

### **Аннотация**

**Цель исследования:** состоит в разработке методики оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения, согласно действующих руководящих документов Российской Федерации.

**Метод исследования:** теоретический и эмпирический анализ, теоретический синтез.

**Результат:** разработанная методика оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения позволила сформировать интегральный подход к оценке качества функционирования инфокоммуникационных систем, в состав которых входят системы искусственного интеллекта, как с учетом действующих руководящих документов Российской Федерации, так и с учетом принятых в инженерной среде показателей качества передачи информации по каналам связи. Предложенный подход положительно апробирован в ходе военно-научного сопровождения, ведущейся на момент написания статьи опытно-конструкторской работы (ОКР) – включён в программу предварительных и государственных испытаний изготовленного опытного образца. Одной из немаловажных особенностей описанной техники оценки качества функционирования сложных систем заключается в не инвариантности её методов и наличии процедуры уточнения в зависимости от состава и функционального предназначения той или иной оцениваемой системы.

**Практическая ценность:** разработанная методика оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи специального назначения на основе прозрачных вычислений позволила сформировать объективные выводы об успешности выполнения той или иной инфокоммуникационной системой своих функций по предназначению.

### **Введение**

Наступивший век господства цифровых технологий практически во всех сферах хозяйственной деятельности человека predetermined направление развития сложных инфокоммуникационных систем в сторону применения методов (алгоритмов) искусственного интеллекта (ИИ). Однако в части, касающейся критически важных объектов телекоммуникационной инфраструктуры, например, назначением которых является поддержание обороноспособности страны и безопасности государства, степень доверия к результатам функционирования таких систем (так называемая «этичность» ИИ) может быть определена не однозначно в виду вариативности результатов, получаемых с применением технологий ИИ (ТИИ).

---

<sup>1</sup> Долматов Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России по научной работе, г. Мытищи, Россия. E-mail: mesterium@inbox.ru

<sup>2</sup> Яговитов Данила Сергеевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России, г. Мытищи, Россия. E-mail: danila.yagovitov@mail.ru

В подтверждение сказанного в [1–3] затрагивается проблематика правового регулирования разработки и внедрения СИИ, в том числе в источниках повышенной опасности. Выходом из сложившейся ситуации слабой проработанности отечественной нормативно-законодательной базы могут стать такие механизмы, как страхование, лицензирование, сертифицирование, стандартизация, что будет способствовать разработке дополнительных требований к созданию СИИ и повышению их эффективности как интегрального показателя качества функционирования. Автор [1] указывает, что ответственность [за внедрение СИИ] должна регулироваться надзорными органами, особенно в таких отраслях, как медицина, финансовые услуги, где могут существовать правила, требующие определенных стандартов и прозрачности использования СИИ. Нарушение таких правил может привести к административным санкциям или отзыву лицензий.

В публикации [4] автором рассмотрены аспекты применения российскими производителями товаров и услуг ТИИ с целью осуществления импортозамещения: прогнозирование и анализ данных, автоматизация рабочих процессов, персонализация и маркетинг, управление рисками и экономические вызовы. Однако, исходя из текста аннотации статьи, подходов к оценке качества указанных подходов сформулировано не было.

В [5] рассмотрены интеллектуальные технологии, используемые при проектировании СИИ в интересах создания композиций и прогнозирования свойств вторичных полимерных материалов. Результатом функционирования системы является формирование технологической карты производства полимерного изделия, включающей информацию о рецептуре и процессе синтеза композиции, спецификации оборудования и значениях технологических режимов стадий производства. По мнению авторов, применение системы позволяет сократить временные затраты на решение задачи подбора композиций и перенастройки производства, снизить брак и повысить потребительские характеристики полимерных изделий, однако в аннотации статьи не указано, какими метриками пользовались авторы для приведенной оценки качества функционирования проектируемой СИИ.

В публикациях [6, 7, 8] предложен подход, заключающийся в повышении точности управления системами, не реализуемые для представления в виде модели с постоянными параметрами (константами), а внешние воздействия на такие системы – в виде известных случайных величин. Для обучения функционирования указанных систем предложено использовать нейронные сети – с целью реализации непосредственно процесса обучения – и нечеткую логику – для более гибкой настройки законов изменения управляющих воздействий в зависимости от режимов работы системы. Однако метрики оценки качества обучения такой системы, или её непосредственного функционирования, или же управления ею, как и интегральный показатель качества управления/обучения, применимые к функционированию рассмотренной в [6, 7, 8] системы и её модели, перечислены не были.

В докладе [9] рассмотрено применение динамической экспертной системы (ЭС) на основе модели системы контроля технического состояния генераторов сигналов в радиоэлектронных системах аэронавигационного комплекса. В рассмотренной системе принятие решений основывается на постоянном анализе параметров частотно-временных параметров сигналов, формируемых генераторами радиоэлектронных систем. Предложен авторский метод оценки качества функционирования изучаемой ЭС, заключающийся в вычислении функционала в виде суммы по числу измерений квадратов разностей между измеренными значениями фаз сигнала и смоделированными на основе известного закона распределения случайной величины (нормального и равномерного) с последующим выбором параметров того закона распределения, для которого минимум функционала будет меньше [9, с. 203]. Считаем, что указанный подход представляет научный интерес, однако в интересах его унификации и масштабируемости на другие интеллектуальные системы

предлагаем включить в направления дальнейших исследований его адаптацию под действующие на территории Российской Федерации государственные стандарты в соответствующей предметной области.

Известен подход [10], когда в роли показателя качества функционирования имитационной СИИ в динамических процессах экономики и экологии – оптимальной траектории поведения ИИ – предлагается принцип наименьшего действия Гамильтона-Якоби [11]. Примечательно, что рассмотренный далее в статье государственный стандарт не распространяется на системы так называемого «сильного» ИИ, к которой можно отнести имитационную СИИ, представленную в [10], исходя из чего следует, что предложенная эвристика имеет место быть.

### Постановка задачи на исследование

Подытоживая вышесказанное, следует отметить, что задача выработки единых подходов к оценке качества функционирования технических систем на основе ТИИ является актуальной и важной. Так, федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) предложен национальный стандарт Российской Федерации «ГОСТ Р 59898-2001. Оценка качества систем искусственного интеллекта»<sup>3</sup>. В нём определено понятие качества систем ИИ (СИИ); приведена методология, показатели и критерии оценки качества на стадиях жизненного цикла СИИ; формализована модель качества СИИ; приведена классификация существенных характеристик и показателей качества СИИ.

Согласно ГОСТ Р 59898-2001, оценка качества является неотъемлемой частью жизненного цикла СИИ и включает в себя действия, проводимые на стадиях разработки, создания и эксплуатации данных систем в целях обеспечения необходимого уровня соответствия СИИ установленным требованиям. В зависимости от стадии жизненного цикла оценка качества позволяет:

- определить текущие параметры СИИ и выполнить действия, направленные на повышение ее надежности, производительности, востребованности и целенаправленности, а также расширения функциональности системы путем выполнения процедур

по устранению неисправностей и совершенствованию программного обеспечения;

- удостовериться, что выходные данные СИИ являются приемлемыми и обоснованными для решения поставленной задачи в условиях, представленных в описании СИИ, с учетом современного уровня развития отрасли;

- убедиться в достижении целей предназначения СИИ в условиях обеспечения заданной точности, надежности и достоверности выходных данных;

- подтвердить соответствие характеристик СИИ требуемым значениям, установленным в технической документации и/или нормативных правовых актах.

Кроме того, отсутствие надлежащей оценки качества СИИ может привести к снижению уровня безопасности субъектов, с которыми СИИ имеет взаимодействие, что было отмечено выше. С другой стороны, наличие грамотно выстроенной системы оценки качества позволяет повысить доверие к СИИ на физическом уровне путем подтверждения требований к надежности, безопасности и функциональности.

ГОСТ Р 59898-2001 «Оценка качества систем искусственного интеллекта» дополняет представленный в ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015<sup>4</sup> «Информационные

<sup>3</sup> ГОСТ Р 59898-2021. Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2021-11-26 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. Официальное. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 24 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (*SQuaRE*). Модели качества систем и программных продуктов : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2016-06-01 /

технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (*SQuaRE*). Модели качества систем и программных продуктов» набор показателей качества специализированными характеристиками (субхарактеристиками) и соответствующими метриками с целью обеспечения полноценной оценки качества СИИ. Областью его распространения являются все системы, использующие различные методы ИИ, включая алгоритмы на основе машинного обучения (обучение по прецедентам – «с учителем»), экспертные системы (на основе дедуктивного обучения – «без учителя»), для решения конкретных практически значимых задач.

Для описания качества СИИ, согласно ГОСТ Р 59898-2001, используется модель качества как продукта, представляющая собой структурированное множество характеристик, в том числе существенных, субхарактеристик, метрик и отношений между ними (рис. 1).

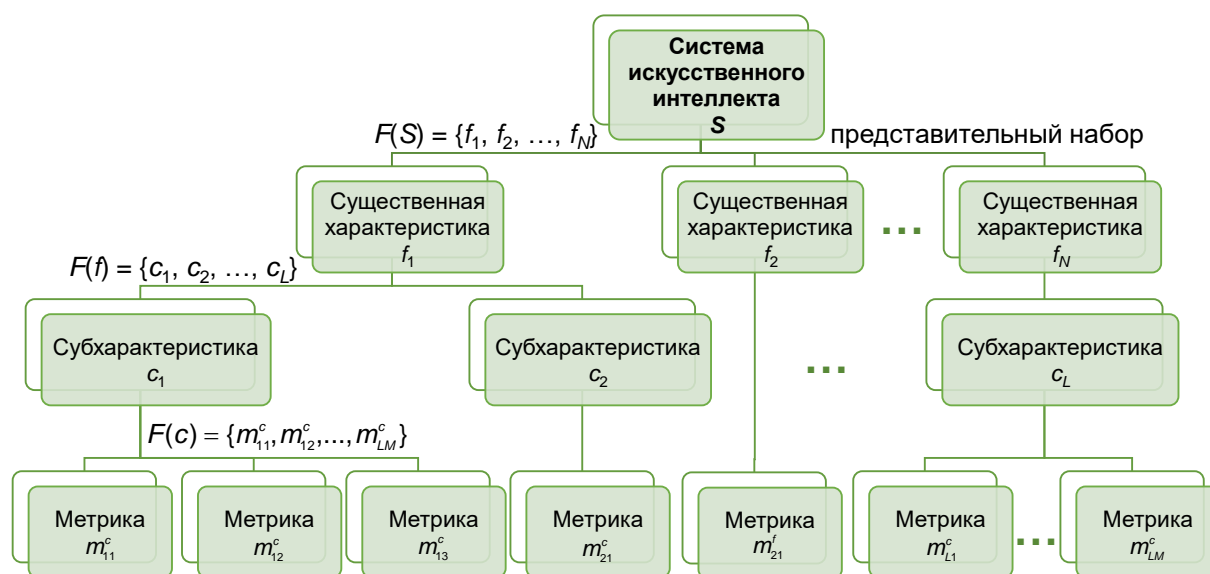


Рис. 1. Модель качества СИИ как продукта

При этом качество СИИ как любого программного обеспечения является интегральным показателем, для оценки которого на этапе построения модели качества как продукта (рис. 1), исходя из функционального назначения системы и решаемой прикладной интеллектуальной задачи, определяется представительный набор показателей качества – существенных характеристик и субхарактеристик, согласно (1)

$$F(S) = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}, \quad (1)$$

где  $S$  – оцениваемая СИИ;  $F$  – представительный набор существенных характеристик;  $f_i$  –  $i$ -я существенная характеристика. Для количественного же измерения показателя качества (характеристики  $f_i$  субхарактеристики  $c_i$ ) используется соответствующая метрика  $m_i$ , определяемая на измерительной шкале, тип которой выбирается, исходя из физического смысла соответствующей характеристики  $f_i$  (числовая шкала, шкала категорий, отношений и др.).

При выборе представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик СИИ целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- полнота (достаточность) набора характеристик для принятия решения о возможности использования СИИ при решении конкретной прикладной задачи;

- простота и возможность оценки характеристик путем установления соответствующей(-их) метрик(и), ее (их) уровней ранжирования и оценки;
- простота и возможность измерения значений характеристик;
- отсутствие дублирования (перекрывтия диапазонов) между используемыми характеристиками;
- соответствие установившимся понятиям и терминологии;
- возможность последующего уточнения и детализации характеристик.

Пример представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик представлен в виде табл. 1.

Таблица 1.

Пример представительного набора существенных характеристик и субхарактеристик

Группа характеристик {f}	Характеристика по ГОСТ Р 59276–2020	Существенная характеристика	Субхарактеристика {c <sup>f</sup> }	Метрики {m <sup>c</sup> }
Функциональность	Функциональные возможности	Функциональные возможности (functionality)	Функциональная корректность (правильность) (functional correctness)	Результативность, доля правильных ответов (accuracy), точность (precision), полнота (recall), избирательность (specificity), F-мера, AUC-ROC
			Функциональная пригодность (functional appropriateness)	Степень автоматизации
			Функциональная полнота (functional completeness)	Полнота реализации функций
			Способность к взаимодействию (compatibility)	
	Эффективность	Уровень производительности (performance efficiency)	Соответствие (co-existence)	
			Контролируемость (controllability)	
	Практичность	Практичность (usability)	Характер изменения во времени (time behaviour)	Отклонение времени отклика, производительность
			Характер изменения (использования) ресурсов (resource utilization)	
Сопровождаемость	Сопровождаемость (maintainability)	Понятность (explainability)		
Надежность	Надежность	Надежность (reliability)	Анализируемость (analysability)	
			Стабильность (maturity)	Плотность отказов по отношению к тестовым наборам, тестовое покрытие
			Устойчивость к ошибке (отказоустойчивость) (fault tolerance)	
			Робастность (robustness)	

Алгоритм оценки качества СИИ, согласно ГОСТ Р 59898-2001, должен включать следующие основные этапы:

1. Подготовительные работы
2. Оценка интегрального показателя качества СИИ  $Q$  в ходе проведения испытаний.
3. Анализ и интерпретация результатов тестирования.

На этапе подготовительных работ осуществляется установление целей и задач испытаний; выбор (создание) испытательного стенда и оценка условий проведения испытаний; определение набора данных для испытаний и критерия выявления выбросов в данных; выбор и обоснование набора существенных характеристик  $\{f\}$  и метрик их оценки  $\{m_c\}$ ; выявление и определение диапазона значимых, наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на функционирование СИИ; сопоставление методики проведения испытаний и подготовка программы тестирования с указанием состава экспертной группы.

В ходе второго этапа оценки интегрального показателя качества  $Q$  СИИ для каждой  $j$ -й метрики  $m_j$  задается весовой коэффициент  $v_j^m$ . Далее проводят оценку каждой  $i$ -й субхарактеристики  $c_i$   $k$ -й характеристики (2):

$$c_i^k = \frac{\sum_{j=1}^{L1} (m_j \cdot v_j^m)}{\sum_{j=1}^{L1} v_j^m}, \quad (2)$$

где  $L$  – количество метрик для конкретной субхарактеристики;  $L1$  – количество метрик, использованных при оценке конкретной субхарактеристики ( $L1 \leq L$ );  $\sum_{j=1}^{L1} v_j^m = 1$ .

Затем для каждой  $i$ -й субхарактеристики  $c_i$   $k$ -й характеристики определяют весовой коэффициент  $v_i^c$ , после чего проводят оценку каждой  $k$ -й характеристики (3):

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^{N1} (c_i^k \cdot v_i^c)}{\sum_{i=1}^{N1} v_i^c}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество субхарактеристик конкретной  $k$ -й характеристики,  $N1$  – количество субхарактеристик, использованных при оценке конкретной  $k$ -й характеристики ( $N1 \leq N$ );  $\sum_{i=1}^{N1} v_i^c = 1$ .

После чего для каждой  $k$ -й характеристики (функциональность, надежность, безопасность) устанавливают соответствующий коэффициент  $v_k^o$  и получают интегральную оценку качества  $Q$  СИИ (4):

$$Q = \sum_{k=1}^o (f_k \cdot v_k^o), \quad (4)$$

где  $\sum_{k=1}^o v_k^o = 1, Q \in [0; 1]$ .

Рассмотренный этап проведения испытаний (тестирования) СИИ и последующей оценки интегрального показателя качества ее функционирования  $Q$  сопровождается решением немаловажной задачи отбора метрик субхарактеристик, наиболее репрезентативно представляющих ее целеполагание. Так, например, для СИИ с одной стороны, являющейся информационно-телекоммуникационной системой (ИТКС) с другой, могут быть использованы следующие наборы метрик для субхарактеристик «функциональная корректность (правильность)» (рис. 2 и 3).

Выбор указанных метрик (рис. 2 и 3) обусловлен также тем, что подсчет большинства из них может быть автоматизирован с использованием библиотеки готовых функций машинного обучения «*scikit-learn*» высокоуровневого языка программирования *Python*, ставшим в настоящее время стандартом де-факто в сфере разработки программного обеспечения СИИ.

Наименование метрики	Формула	Измеряемый диапазон	Интерпретация													
Результативность	$M_2 = 1 - \frac{A}{B}$ , где А – количество результатов с отличным от требуемого уровнем точности; В – общее количество результатов.	$M_2 \in [0, 1]$	Отображает степень точности функционирования СИИ													
<b>В задачах регрессии:</b>																
Средняя квадратичная ошибка (mean squared error, MSE)	$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2$ , где $y_i$ – выходные данные СИИ; $\bar{y}_i$ – эталонные (референсные) выходные данные; N – количество результатов функционирования СИИ.	$MSE \geq 0$	Отображает меру среднеквадратичного разброса выходных данных СИИ от референсных значений													
Средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE)	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  y_i - \bar{y}_i $ , где $y_i$ – выходные данные СИИ; $\bar{y}_i$ – эталонные (референсные) выходные данные; N – количество результатов функционирования СИИ	$MAE \geq 0$	Отображает меру абсолютного среднего разброса выходных данных СИИ от референсных значений													
<b>В задачах классификации и обнаружения:</b>																
Матрица ошибок (confusion matrix)	TP – истинно положительные решения СИИ (True Positive); FP – ложно положительные решения СИИ (False Positive); FN – ложно отрицательные решения СИИ (False Negative); TN – истинно отрицательные решения СИИ (True Negative).	—	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" rowspan="2"></td> <th colspan="2">Prediction</th> </tr> <tr> <th>Positive</th> <th>Negative</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Actual classes</th> <th>Positive</th> <td>TP</td> <td>FN</td> </tr> <tr> <th>Negative</th> <td>FP</td> <td>TN</td> </tr> </table>			Prediction		Positive	Negative	Actual classes	Positive	TP	FN	Negative	FP	TN
		Prediction														
		Positive	Negative													
Actual classes	Positive	TP	FN													
	Negative	FP	TN													
Доля правильных ответов (accuracy)	$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	$A \in [0, 1]$	Отображает долю решений СИИ, которые совпадают с референсными													
Точность (precision, relevance)	$Pr = \frac{TP}{TP + FP}$	$Pr \in [0, 1]$	Отображает процент объектов, относительно которых СИИ принято решение об отнесении к основному классу, действительно являющихся таковым													
Чувствительность, полнота (sensitivity, recall)	$Se = \frac{TP}{TP + FN}$	$Se \in [0, 1]$	Отображает процент объектов основного класса, обнаруженный СИИ													

Рис. 2. Примеры метрик оценки функциональной корректности СИИ

Наименование метрики	Формула	Измеряемый диапазон	Интерпретация
Избирательность (specificity)	$Sp = \frac{TN}{TN + FP}$	$Sp \in [0, 1]$	Отображает процент объектов, правильно не отнесенных СИИ к основному классу, от всех объектов, не являющихся основным классом
F <sub>β</sub> -мера (гармоническое среднее)	$F_\beta = (1 + \beta^2) \cdot \frac{Pr \cdot Se}{(\beta^2 \cdot Pr) + Se}$ , где $\beta$ – мера смещения гармонического среднего в сторону Pr или Se ( $\beta \in (0, +\infty)$ ); Pr – точность; Se – чувствительность (полнота).	$F_\beta \in [0, 1]$	Метрика, учитывающая баланс между точностью и чувствительностью СИИ
Площадь под ROC-кривой (receiver operation characteristic, рабочая характеристика приемника)	$AUCROC = \int_0^1 Se \cdot dF$ , где $F = 1 - Sp = \frac{FP}{TN + FP}$ ; Se – чувствительность (полнота); Sp – избирательность.	$AUCROC \in [0, 1]$	
Площадь под кривой PRC (precision-recall curve, график зависимости точности от чувствительности)	$AUCPRC = \int_0^1 Pr \cdot dSe$	$AUCPRC \in [0, 1]$	
<b>В задачах восстановления (синтеза и реконструкции) изображений:</b>			
Пиковое отношение сигнал/шум	$PSNR = 10 \lg \left( \frac{E_{\max}^2}{MSE} \right)$ , $MSE = \frac{1}{Kwh} \sum_{c=1}^K \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} (I(x, y, c) - \bar{I}(x, y, c))^2$ , $E_{\max} = 2^B - 1$ , где B – разрядность (глубина квантования); $E_{\max}$ – максимальное значение яркости (интенсивности сигнала);	—	

Рис. 3. Примеры метрик оценки функциональной корректности СИИ

## Рекомендация G.107 «Вычислительная E-модель, используемая при планировании передачи»

Зачастую та или иная СИИ функционирует как подсистема (часто управленческого характера) сложно организационно и технически устроенной системы. Соответственно, оценивать только показатель качества  $Q(4)$  функционирования СИИ в данном случае недостаточно, если стоит цель определить эффективность работы системы в целом. Например, относительно сложных ИТКС основой методики оценки качества передачи информации (речевой) по каналам (линиям) связи может быть выбрана вычислительная E-модель, используемая при планировании передачи, внесенная Международным союзом электросвязи (рекомендация G.107<sup>5</sup>). Рекомендация G.107 описывает вычислительную E-

<sup>5</sup> ITU-T. G.107 (06/2015) E-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи. – Текст : электронный // *itu.int* [сайт]. – 2024. – URL: <https://handle.itu.int/11.1002/1000/12505> (дата обращения 08.07.2024 г.)

модель, признанную полезным инструментом при планировании передачи сигналов для оценки комбинированных эффектов изменения различных параметров передачи, влияющих на качество переговоров по аппаратам с микротелефонными трубками в спектре телефонии 3,1 кГц. Расчеты модели основаны на методе коэффициентов снижения качества оборудования (рис. 4).

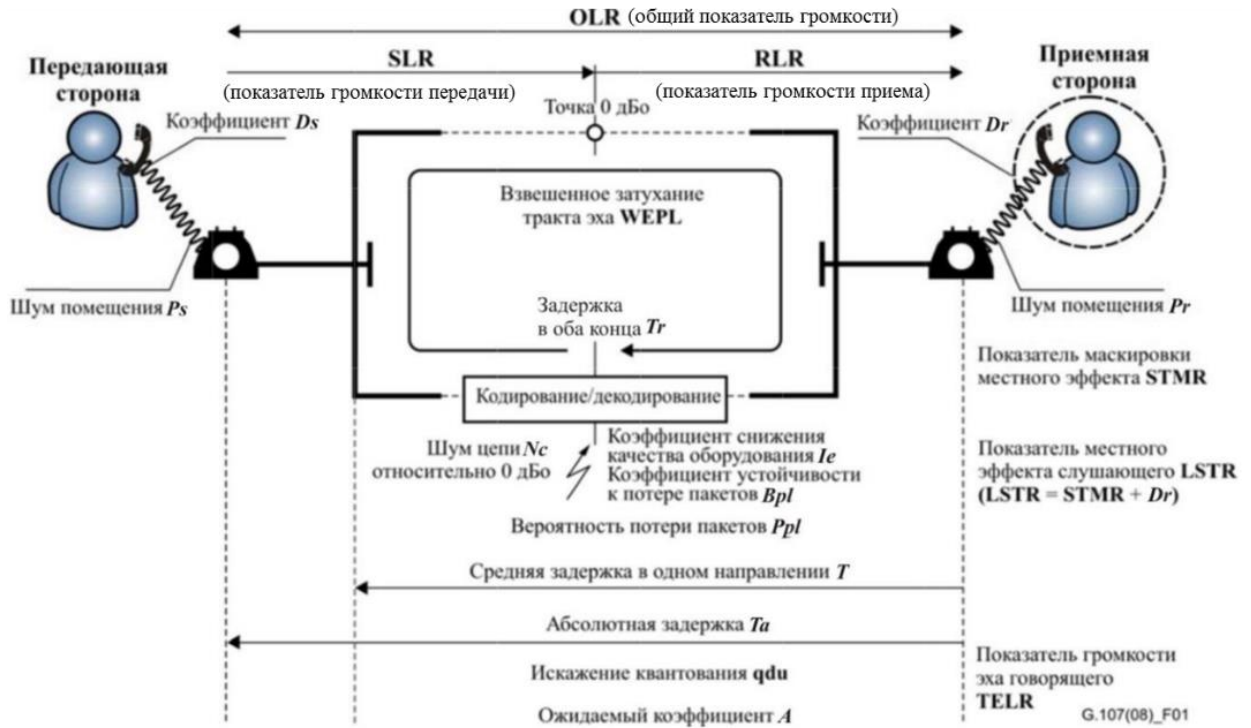


Рис. 4. Эталонное соединение E-модели

Результатом расчетов качества передачи речевой информации, согласно E-модели, является коэффициент рейтинга (rating factor)  $R$  (5):

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A, \quad (5)$$

где:

- $R_0 = 15 - 1,5(SLR + N_0)$  – основное соотношение сигнал/шум;  $SLR$  – показатель громкости передачи,  $N_0$  – сложение по мощности от различных источников шума (цепь, помещения, местный эффект);
- $I_s = I_{oIr} + I_{st} + I_q$  – коэффициент одновременного снижения качества;  $I_{oIr}$  – коэффициент вызванного слишком низкими значениями  $OLR$  снижения качества,  $I_{st}$  – коэффициент снижения качества, вызванного неоптимальным местным эффектом,  $I_q$  – коэффициент снижения качества, вызванного искажениями квантования;
- $I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$  – коэффициент снижения качества из-за задержки;  $I_{dte}$  – коэффициент снижения качества, вызванного эхом говорящего;  $I_{dle}$  – коэффициент снижения качества, вызванного эхом слушающего;  $I_{dd}$  – коэффициент снижения качества, вызванного слишком длительной абсолютной задержкой;
- $I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}}$  – коэффициент снижения качества оборудования, зависящий от потери пакетов;  $I_e$  – коэффициент снижения качества оборудования;  $P_{pl}$  – вероятность потери пакетов;  $BurstR$  – коэффициент всплеска в принимаемой последовательности;  $B_{pl}$  – коэффициент устойчивости к потере пакетов;
- $A$  – скалярный коэффициент выигрыша.



## Методика оценки качества функционирования систем искусственного интеллекта в комплексах и средствах связи

Однако расчет указанного рейтинг фактора  $R$  (5) может быть изменен, согласно целевому предназначению той или иной ИТКС. Так, например, целью разработки опытного образца в ходе выполнения ОКР является создание автоматизированного приемного комплекса слуховой радиосвязи (телеграфной), в состав которого, кроме прочего, входят радиоприемное устройство (РПУ) и декодер азбуки Морзе, предназначенный для автоматического их декодирования с элементами самообучения на основе вероятностного выхода ансамбля искусственных нейронных сетей. В настоящей статье предложена интегральная методика оценки качества функционирования модуля слуховой телеграфной радиосвязи исследуемой ИТКС как с точки зрения оценки непосредственно качества функционирования РПУ, так и с точки зрения качества функционирования СИИ – декодера кодов азбуки Морзе (оценивается качество их автоматического распознавания).

Таким образом, предложенный  $R$ -фактор (5) может быть сведен к виду (6):

$$R = R_0 \times Q \times I_{Mos} \times Ie-eff, \quad (6)$$

где:

- $R_0$  – отношение сигнал/шум в линейной форме (например, 1/1);
- $Q$  – интегральная оценка показателя качества СИИ (4);
- $I_{Mos}$  – приведенная субъективная оценка качества радиосвязи (в диапазоне [0.2; 1]);
- $Ie-eff$  – доля принятых  $UDP$ -пакетов от общего количества переданных в канал радиосвязи (по аналогии с коэффициентом снижения качества оборудования, зависящего от потери пакетов, в (5)).

Согласно предложенной методике расчета  $R$ -фактора (6), интегральная оценка показателя качества  $Q$  СИИ (4) является одним из его коэффициентов. Коэффициент  $I_{Mos}$  получают путем нормировки субъективной оценки качества слухового приема радистом на основе руководящих документов «Руководство по радиосвязи в ВС РФ. Часть 2» и «Сборник единых нормативов и учебных задач для войск связи».

При этом порядок назначения весовых коэффициентов для метрик, субхарактеристик и характеристик остается тем же, что и предложенный в ГОСТ Р 59898-2001. Приведен пример назначения весовых коэффициентов для характеристик «функциональность» и «надежность» и соответствующих им субхарактеристик и метрик (рис. 5).

Характеристики	Весовые коэффициенты характеристик $\{v^c\}$	Существенная характеристика	Субхарактеристика $\{c\}$	Весовые коэффициенты субхарактеристик $\{v^s\}$	Метрики $\{m^s\}$	Весовые коэффициенты метрик $\{v^m\}$
Функциональность	0.6	Функциональные возможности	Функциональная корректность (правильность)	0.6	Результативность декодирования в КП АПК-СР	0.7
			Функциональная пригодность	0.1	Степень автоматизации	1
		Уровень производительности	Функциональная полнота	0.15	Полнота реализации функций в КП АПК-СР	1
			Характер изменения во времени	0.15	Среднее отклонение времени отклика	1
Надежность	0.4	Надежность	Стабильность	0.3	Плотность безотказной работы	1
			Устойчивость к ошибке (отказоустойчивость)	0.7	Устойчивость	1

Рис. 5. Порядок назначения весовых коэффициентов (пример)

### Выводы

В заключение следует отметить, что:

- 1) Целесообразно при обосновании возможности принятия на снабжение результатов ОКР (в том числе военного назначения), имеющих в составе СИИ, руководствоваться группой ГОСТ Р 59xxx, в частности – ГОСТ Р 59898-2001 «Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения»;
- 2) С целью комплексной оценки качества функционирования систем из состава опытных образцов вышеуказанных ОКР как в части реализации функций ИИ, так и в части автоматизированной и программной обработки сигналов, передаваемых по каналам связи, возможно применять интегральную методику, например, на основе рекомендации МСЭ-Т G.107 «Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи»;
- 3) Способ расчета коэффициента оценки качества передачи ( $R$ -фактора) при реализации вышеуказанной интегральной методики не является инвариантным и требует уточнения в зависимости от состава и функционального предназначения той или иной системы;
- 4) Ключевой процедурой оценки интегрального показателя качества  $Q$  функционирования СИИ является выбор метрик, характеристик и субхарактеристик, а также назначение их весовых коэффициентов по согласованию с заказчиком и исполнителем ОКР.
- 5) Предложенный в настоящей статье подход, заключающийся в применении интегральной методики оценки качества функционирования СИИ в комплексах и средствах связи специального назначения, положительно апробирован в ходе военно-научного сопровождения ведущейся ОКР на этапе предварительных и государственных опытного образца, что также подтверждает его практическую ценность.

### Литература

1. Гурышева, К. В. Необходимость правового регулирования использования систем искусственного интеллекта в источниках повышенной опасности / К. В. Гурышева // Юридическая наука: история и современность. – 2023. – № 8. – С. 102–114.
2. Щитова, А. А. Правовое регулирование информационных отношений по использованию систем искусственного интеллекта : специальность 12.00.13 "Информационное право" : диссертация на соискание ученой степени кандидата юридических наук / Щитова Анастасия Андреевна. – Москва, 2022. – 225 с.
3. Карганов, В. В. Программа стандартизации, как инструмент развития высокотехнологичного направления искусственного интеллекта / В. В. Карганов, А. И. Карганова, М. С. Косьянова // Инновационная

деятельность в вооруженных Силах Российской Федерации: Труды всеармейской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военная академия связи имени маршала Советского Союза С. М. Буденного" Министерства Обороны Российской Федерации, 2022. – С. 184–190.

4. Мищенко, Т. Л. Роль искусственного интеллекта в современных условиях / Т. Л. Мищенко, А. А. Картавенко // Инновационное развитие России. Экономика и менеджмент в XXI веке: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции, Москва, 16 ноября 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2024. – С. 135–140.

5. Система искусственного интеллекта для формирования композиций и прогнозирования свойств вторичных полимерных материалов / Т. Б. Чистякова, И. В. Новожилова, Т. С. Гончарова, А. С. Разыграев // Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных: Сборник статей II Всероссийской научной конференции. В 5 томах, Москва, 27–28 апреля 2023 года. – Москва: Издательский дом КДУ, "Добросвет", 2024. – С. 285–290.

6. Чумаченко, А. А. Система интеллектуального управления объектом в условиях частичной неопределённости / А. А. Чумаченко // Перспективы молодежной науки: Материалы международной научной конференции, Красноярск, 25 декабря 2022 года – 30 января 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 176–179.

7. Chumachenko, A. A. Intelligent object control system in conditions of partial uncertainty / A. A. Chumachenko // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – Р. 828–831.

8. Адаптивные системы управления в составе прецизионных электромеханических устройств / С. А. Бронев, О. В. Непомнящий, А. А. Чумаченко [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 8. – С. 627-633. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-627-628.

9. Использование экспертных систем для повышения надежности радиоэлектронных систем аэронавигационного комплекса / П. И. Костенко, О. А. Сафарьян, И. А. Алферова, Ю. И. Найденова // Актуальные аспекты развития логистических коммуникаций: Российско-армянский логистический форум. Материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 17–27 ноября 2022 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2023. – С. 200–206.

10. Паршикова, Г. Ю. Поиски математического аппарата для моделирования имитационной системы искусственного интеллекта / Г. Ю. Паршикова, А. А. Перфильев, А. А. Силаев // Актуальные проблемы управления – 2022 / Материалы 27-й Международной научно-практической конференции, Москва, 23–24 ноября 2022 года. Выпуск 1. – Москва: Государственный университет управления, 2023. – С. 263–266.

11. Бабанов В. Н., Хомяков В. Н. Принцип наименьшего действия в экономических процессах // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2017. №4–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-naimenshego-deystviya-v-ekonomicheskikh-protsessah>

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF FUNCTIONING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN COMPLEXES AND MEANS OF COMMUNICATION

*Dolmatov Ye. A.<sup>6</sup>, Yagovitev D.S.<sup>7</sup>*

**Keywords:** *quality control, metrics, characteristics, intelligent system, infocommunication system.*

### **Abstract**

**Objective of the study:** *consists in the development of a methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and*

---

<sup>6</sup> Yevgeniy A. Dolmatov, Ph.D., Docent, Deputy Head for scientific work of the Federal State Budgetary Institution "16 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia.

E-mail: [mesterium@inbox.ru](mailto:mesterium@inbox.ru)

<sup>7</sup> Danila S. Yagovitev, Ph.D., Laboratory Head of the Federal State Budgetary Institution "16 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Mytishchi, Russia.

E-mail: [danila.yagovitev@mail.ru](mailto:danila.yagovitev@mail.ru).

communications facilities, in accordance with the current governing documents of the Russian Federation.

**Research method:** theoretical and empirical analysis, theoretical synthesis.

**Result:** the developed methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communications facilities has allowed us to form an integrated approach to assessing the quality of functioning of information and communication systems, which include artificial intelligence systems, both taking into account the current governing documents of the Russian Federation and taking into account the quality indicators of information transmission through communication channels accepted in the engineering environment. The proposed approach has been positively tested during the military scientific support of the experimental design work (R&D) underway at the time of writing - it is included in the program of preliminary and state tests of the manufactured prototype. One of the important features of the described technique for assessing the quality of functioning of complex systems is the non-invariance of its methods and the availability of a refinement procedure depending on the composition and functional purpose of a particular system being evaluated.

**The scientific novelty:** the methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communication facilities has been obtained for the first time.

**Practical value:** the developed methodology for assessing the quality of functioning of artificial intelligence systems in special-purpose complexes and communication facilities based on transparent calculations made it possible to form objective conclusions about the success of a particular infocommunication system in fulfilling its intended functions.

## References

1. Guryshcheva, K. V. Neobhodimost' pravovogo regulirovaniya ispol'zovaniya sistem iskusstvennogo intellekta v istochnikah povyshennoj opasnosti / K. V. Guryshcheva // Juridicheskaja nauka: istorija i sovremennost'. – 2023. – № 8. – S. 102–114.
2. Shhitova, A. A. Pravovoe regulirovanie informacionnyh otnoshenij po ispol'zovaniju sistem iskusstvennogo intellekta : special'nost' 12.00.13 "Informacionnoe pravo" : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata juridicheskikh nauk / Shhitova Anastasija Andreevna. – Moskva, 2022. – 225 s.
3. Karganov, V. V. Programma standartizacija, kak instrument razvitija vysokotekhnologichnogo napravlenija iskusstvennogo intellekta / V. V. Karganov, A. I. Karganova, M. S. Kos'janova // Innovacionnaja dejatel'nost' v vooruzhennyh Silah Rossijskoj Federacii: Trudy vsearmejskoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Sankt-Peterburg, 13–14 oktjabrja 2022 goda. – Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe kazennoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Voennaja akademija svjazi imeni marshala Sovetskogo Sojuza S. M. Budennogo" Ministerstva Oborony Rossijskoj Federacii, 2022. – S. 184–190.
4. Mishhenko, T. L. Rol' iskusstvennogo intellekta v sovremennyh uslovijah / T. L. Mishhenko, A. A. Kartavenko // Innovacionnoe razvitie Rossii. Jekonomika i menedzhment v XXI veke: Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Moskva, 16 nojabrja 2023 goda. – Moskva: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Rusajns", 2024. – S. 135–140.
5. Sistema iskusstvennogo intellekta dlja formirovaniya kompozicij i prognozirovaniya svojstv vtorichnyh polimernykh materialov / T. B. Chistjakova, I. V. Novozhilova, T. S. Goncharova, A. S. Razygraev // Iskusstvennyj intellekt v avtomatizirovannykh sistemah upravlenija i obrabotki dannyh: Sbornik statej II Vserossijskoj nauchnoj konferencii. V 5 tomah, Moskva, 27–28 aprelja 2023 goda. – Moskva: Izdatel'skij dom KDU, "Dobrosvet", 2024. – S. 285–290.
6. Chumachenko, A. A. Sistema intellektual'nogo upravlenija ob#ektom v uslovijah chastichnoj neopredeljonnosti / A. A. Chumachenko // Perspektivy molodjozhnoj nauki: Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Krasnojarsk, 25 dekabrja 2022 goda – 30 janvarja 2023 goda. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – S. 176–179.
7. Chumachenko, A. A. Intelligent object control system in conditions of partial uncertainty / A. A. Chumachenko // Innovacionnye tendencii razvitija rossijskoj nauki: Materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii molodyh uchenykh, Krasnojarsk, 29–31 marta 2023 goda. – Krasnojarsk: Krasnojarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – P. 828–831.

8. Adaptivnye sistemy upravlenija v sostave precizionnyh jelektromehaničeskikh ustrojstv / S. A. Bronov, O. V. Nepomnjashhij, A. A. Chumachenko [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehničeskie nauki. – 2023. – № 8. – S. 627-633. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-8-627-628.

9. Ispol'zovanie jekspertnyh sistem dlja povyšeniya nadezhnosti radiojelektroennyh sistem ajeronavigacionnogo kompleksa / P. I. Kostenko, O. A. Safar'jan, I. A. Alferova, Ju. I. Najdenova // Aktual'nye aspekty razvitija logističeskikh kommunikacij: Rossijsko-armjanskij logističeskij forum. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 17–27 nojabrja 2022 goda. – Rostov-na-Donu: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "DGTU-PRINT", 2023. – S. 200–206.

10. Parshikova, G. Ju. Poiski matematičeskogo apparata dlja modelirovanija imitacionnoj sistemy iskusstvennogo intellekta / G. Ju. Parshikova, A. A. Perfil'ev, A. A. Silaev // Aktual'nye problemy upravlenija – 2022 / Materialy 27-j Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, Moskva, 23–24 nojabrja 2022 goda. Vypusk 1. – Moskva: Gosudarstvennyj universitet upravlenija, 2023. – S. 263–266.

11. Babanov V. N., Homjakov V. N. Princip naimen'shego dejstvija v jekonomičeskikh processah // Izvestija TulGU. Jekonomičeskie i juridičeskie nauki. 2017. №4–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-naimenshego-deystviya-v-ekonomičeskikh-protsessah>