

Научная статья
УДК 004.8:623

Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта

Александр Сергеевич Горский, Вячеслав Михайлович Полушкин,
Алексей Владимирович Ермоленко

Аннотация. Статья посвящена исследованию вопросов методологии проведения испытаний систем искусственного интеллекта (СИИ). Разработан комплексный подход к проведению различных видов испытаний и интегральной оценке функциональных характеристик СИИ, который позволяет недостатки одного вида испытаний компенсировать преимуществами другого, избежать дублирования и обеспечить эффективную и действенную стратегию валидации. Предложенный подход представляет собой сочетание методов теории вероятностей, математической статистики, нечетких множеств и общей теории принятия решений. В частности, рассмотрен порядок применения метода получения обобщенного показателя и комплексной оценки качества СИИ на примере конкретной расчетной процедуры, а также альтернативный вариант оценки с использованием средств нечеткого моделирования.

Ключевые слова: система искусственного интеллекта; испытания; комплексный подход; теория вероятностей; обобщенный показатель; весовой коэффициент; оценка качества; нечеткий вывод

Для цитирования: Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В. Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 28-38.

Original article

An Integrated Approach to Artificial Intelligence Systems Testing

Aleksandr S. Gorsky, Viacheslav M. Polushkin, Aleksei V. Ermolenko

Abstract. The article is devoted to the methodology study of artificial intelligence systems (AIS) testing. A comprehensive approach has been developed to conduct various types of tests and integrated assessment of the AIS functional characteristics, which allows the disadvantages of one type of test to be compensated by the advantages of another, avoid duplication and provide an effective and efficient validation strategy. The proposed approach is a combination of probability theory methods, mathematical statistics, fuzzy sets and general decision theory. In particular, the procedure for applying the method of a generalized indicator obtaining, and a comprehensive assessment of the AIS quality on the example of a specific calculation procedure, as well as an alternative assessment using fuzzy modeling tools, is considered.

Keywords: artificial intelligence system; tests; integrated approach; probability theory; generalized indicator; weighting factor; quality assessment; fuzzy output

For citation: Gorsky A.S., Polushkin V.M., Ermolenko A.V. An Integrated Approach to Artificial Intelligence Systems Testing. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 28-38. (In Russ.).

Введение

Одним из основных приоритетов развития отечественной науки является внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в программно-технические комплексы, повышающие уровень автоматизации различных сфер человеческой деятельности. Проводится множество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию систем искусственного интеллекта (СИИ), входящих в состав технических средств и комплексов автоматизации. Данное обстоятельство вызывает необходимость разработки единых подходов к методам проведения испытаний – оценки качества создаваемых СИИ. Под оценкой качества СИИ будем понимать комплексную оценку функциональных характеристик, позволяющих интегрально оценить способность СИИ выполнять заданные функции с требуемой эффективностью.

Анализ существующих подходов к испытаниям СИИ [1-7] показал, что в основном предлагается последовательное проведение испытаний от виртуальных к натурным. По каждому виду испытаний заблаговременно формируется система показателей и критериев оценки соответствия характеристик СИИ заданным требованиям. При этом в работе [6] для оценки результатов виртуальных испытаний количество повторений одного испытания определяется с учетом требуемого уровня доверия к итоговому результату и вычислительной

мощности моделирующего стенда, а для натуральных (полигонных) испытаний – с учетом материальных, временных затрат и минимального допустимого уровня доверия. Предлагаемый в [7] подход позволяет рассчитать число успешных виртуальных испытаний до появления первой ошибки, чтобы сделать вывод либо о требуемом, либо о достигнутом уровне функциональности СИИ. В первом случае в качестве параметра-критерия годности СИИ выбрано требование к вероятности успешного решения прикладной задачи, во втором – к обратной величине, вероятности ошибки. В обоих случаях для оценки функциональных характеристик СИИ использованы методы теории вероятностей. В данной статье предлагается рассмотреть комплексный подход к проведению испытаний СИИ.

1 Анализ и выбор методического аппарата проведения комплексных испытаний СИИ

Целью испытаний СИИ будем считать экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний, как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий. По условиям и месту проведения испытания подразделяются на испытания с использованием моделей (в т.ч. виртуальные испытания), лабораторные, стендовые, полигонные, натурные и эксплуатационные.

Вместе с тем некоторые из указанных испытаний могут быть частью другого испытания. Например, инструментальная цепочка виртуальных испытаний может включать, помимо компьютера, лабораторное оборудование и испытательные стенды. Условия полигонных и натуральных испытаний предполагают более строгое соблюдение предъявляемых требований¹. С учетом этого в дальнейшем будем рассматривать три основных вида испытаний, которые могут использоваться на стадии разработки СИИ: виртуальные (в т.ч. лабораторные и стендовые), полигонные и натурные.

Сравнительный анализ основных видов испытаний позволил определить их существенные свойства и качественные оценки (таблица 1).

Необходимо отметить, что у каждого вида испытаний есть свои преимущества и недостатки.

Виртуальные испытания позволяют получить высокую масштабируемость создаваемых ситуаций и являются самыми безопасными и экономически выгодными по сравнению с полигонными или натурными испытаниями. Это дает возможность безопасно и легко создавать большое количество ситуаций для применения СИИ, в которых исследуется разнообразный спектр элементов окружающей среды. Однако виртуальные модели и программные средства испытательного стенда могут не позволить с требуемой точностью (адекватностью) воссоздать условия, близкие к реальным.

Таблица 1 – Виды испытаний и оценка их свойств

№ п/п	Свойства испытаний	Оценка уровня достижимости		
		виртуальные	полигонные	натурные
1.	безопасность	высокий	высокий	низкий
2.	точность	низкий	высокий	высокий
3.	адекватность	низкий	средний	высокий
4.	экономичность	высокий	низкий	низкий
5.	масштабируемость	высокий	низкий	низкий

¹ ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 24 с.

С другой стороны, виртуальные испытания могут быть более подходящими, когда необходимо провести моделирование с большим количеством возможных ситуаций для применения СИИ. Полигонные испытания лучше всего подойдут для случаев, когда функциональность СИИ может быть оценена с помощью ограниченного числа испытаний при обеспечении более высоких уровней точности и безопасности. Натурные испытания проводятся, когда необходимо создать естественные условия для более точной оценки наиболее важных (значимых) характеристик СИИ.

Для того, чтобы рационально использовать преимущества и нивелировать недостатки каждого вида испытаний, необходимо применять и оценивать различные виды испытаний в комплексе. Такой подход позволит недостатки одного вида испытаний компенсировать преимуществами другого, избежать дублирования и обеспечить эффективную и действенную стратегию валидации.

Обязательным условием комплексного подхода является соответствие наборов тестовых данных, используемых для виртуальных испытаний, исходным условиям полигонных или натурных испытаний. В этом случае статистика, полученная во время испытаний на полигоне, может использоваться для проверки достоверности результатов виртуальных испытаний при выполнении одного и того же сценария. Информация, собранная в ходе натурных испытаний, может применяться для проверки адекватности моделирования виртуальной среды или среды полигонных испытаний.

Для применения комплексного подхода необходимо по каждой характеристике определить частные характеристики (субхарактеристики), их показатели, критерии, порядок вывода расчетных и статистических оценок, количество испытаний и повторений каждого испытания. После проведения испытаний на основе полученной статистики определяются оценки частных показателей, производится их нормирование и свертка, что позволяет получить комплексную оценку каждой характеристики.

Возможный вариант формирования частных показателей функциональных характеристик (субхарактеристик) СИИ для различных испытаний представлен в таблице 2. Ввиду достаточно больших материальных затрат на создание условий для полигонных и натурных испытаний заказчиком СИИ может быть принято решение на проведение либо полигонных, либо натурных испытаний.

Данный вариант предполагает расчетный метод определения значений показателей на основе статистики, полученной по итогам испытаний. Учитывая, что методы расчета указанных в таблице 2 усредненных и вероятностных показателей известны из теории вероятностей и математической статистики [8], в данной статье они не приводятся [9; 10]. Помимо расчетных показателей могут также вводиться показатели, которые определяются методами экспертных оценок. Для оценки каждой субхарактеристики СИИ необходимо определить количество различных испытаний (наборов тестовых данных, сценариев) и реализаций для каждого испытания. Математический аппарат, позволяющий провести такие расчеты, достаточно полно рассмотрен в [6; 7].

Для конкретизации процедуры оценки качества СИИ в таблицах 3-5 приводятся варианты распределения весовых коэффициентов частных показателей для каждой характеристики (субхарактеристики). Весовые коэффициенты для субхарактеристик даны во втором столбце каждой таблицы, для всех показателей – в строке соответствующей субхарактеристики. В каждом отдельном столбце и строке их сумма должна быть равна 1.

Важно отметить, что оценивание субхарактеристик P1, P2 осуществляется только по результатам виртуальных испытаний, а Д1, Д2, Ц1, Ц2 – после проведения всех видов испытаний (виртуальных, полигонных и натурных). Поэтому здесь необходимо учитывать разную точность и адекватность результатов различных видов испытаний (см. таблицу 1). Сделать это можно также с помощью введения весовых коэффициентов, учитывающих указанные свойства испытаний. Пример распределения весовых коэффициентов между видами испытаний приведен в таблице 6. Значения весовых коэффициентов, указанных в таблицах 3-6, определяются методом экспертных оценок.

Далее рассмотрим процедуру нормировки, формирования модели предпочтений, свертки частных показателей и получения комплексной оценки для каждой характеристики СИИ.

Таблица 2 – Показатели функциональных характеристик СИИ для различных испытаний

№ п/п	Функциональные характеристики (субхарактеристики) СИИ, код	Показатели оценки	Вид испытаний
	распознавание объектов, Р		
1.1	распознавание препятствий, Р1	вероятность распознавания, $P_{р1}$ вероятность ошибки первого рода, $P_{ош1р1}$ среднее время распознавания, $T_{ср.п}$ (с)	Виртуальные испытания (В)
1.2	распознавание целей, Р2	вероятность распознавания, $P_{р2}$ вероятность ошибки первого рода, $P_{ош1р2}$ среднее время распознавания, $T_{ср.ц}$ (с)	В
	движение с препятствиями, Д		
2.1	движение с преодолимыми препятствиями, Д1	вероятность преодоления препятствия, $P_{пп}$ вероятность прибытия на исходный рубеж, $P_{ипр}$ среднее время преодоления препятствия, $T_{ср.пп}$ (с) средняя скорость, $S_{ср.}$ (км/ч)	В, полигонные испытания (П), натурные испытания (Н)
2.2	движение с непреодолимыми препятствиями, Д2	вероятность объезда препятствия, $P_{оп}$ вероятность прибытия на исходный рубеж, $P_{ипр}$ среднее время объезда препятствия, $T_{ср.оп}$ (с) средняя скорость, $S_{ср.}$ (км/ч)	В, П, Н
	обнаружение, захват и сопровождение целей на маршруте движения, Ц		
3.1	обнаружение, захват и сопровождение подвижных целей на маршруте движения, Ц1	вероятность захвата подвижной цели, $P_{зп}$ среднее время захвата цели, $T_{ср.зпц}$ (с)	В, П, Н
3.2	обнаружение и захват неподвижных целей на маршруте движения, Ц2	вероятность захвата неподвижной цели, $P_{зпп}$ среднее время захвата цели, $T_{ср.зппц}$ (с)	В, П, Н

Таблица 3 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «распознавание объектов»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей		
		Вероятность распознавания	Вероятность ошибки первого рода	Среднее время распознавания
Р1	0,5	0,6	0,3	0,1
Р2	0,5	0,6	0,2	0,2

Таблица 4 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «движение с препятствиями»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей			
		вероятность преодоления (объезда) препятствия	вероятность прибытия на исходный рубеж	среднее время преодоления (объезда) препятствия	средняя скорость
Д1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
Д2	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1

Таблица 5 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «захват целей»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей	
		вероятность захвата подвижной (неподвижной) цели	среднее время захвата подвижной (неподвижной) цели
Ц1	0,6	0,7	0,3
Ц2	0,4	0,7	0,3

Таблица 6 – Весовые коэффициенты для различных видов испытаний при оценке субхарактеристик Д1, Д2, Ц1, Ц2

Код субхарактеристики	Вес		
	В	П	Н
Д1, Д2, Ц1, Ц2	0,15	0,4	0,45

2 Расчётная процедура применения комплексного подхода к оценке качества СИИ

Задача комплексной оценки частных показателей качества СИИ относится к классу многокритериальных задач и может быть решена одним из методов общей теории принятия решений, в частности методом получения обобщенного показателя [11; 12].

Абсолютные значения частных показателей по видам испытаний будем определять по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i, \quad (1)$$

где n – число значений частного показателя P , полученных в различных видах испытаний, в данном случае $n = 3$; v_i – весовой коэффициент i -го значения частного показателя P_i .

В качестве примера проведем расчет одного из показателей категории Д1. Допустим, статистическая вероятность преодоления препятствия по результатам виртуальных испытаний равна 0,85, $P_{пп1} = 0,85$, полигонных испытаний – $P_{пп2} = 0,9$, натуральных испытаний – $P_{пп3} = 0,8$. Используя данные из таблицы 6 и формулу (1), получим $P_{пп} = 0,85 \cdot 0,15 + 0,9 \cdot 0,4 + 0,8 \cdot 0,45 = 0,8475$. Остальные показатели рассчитываются аналогично.

По решению заказчика свертка значений показателей по видам испытаний может не проводиться. В этом случае формула (1) и таблица 6 не используются, и обработка результатов испытаний проводится по каждому виду испытаний в отдельности.

С учетом того, что субхарактеристики Д1, Д2, Ц1, Ц2 имеют неоднородные частные показатели, для приведения их к единой шкале необходимо провести нормировку. Существует несколько методов нормировки [11; 12]. В данном случае будем использовать метод, который заключается в том, что вместо абсолютных значений частного показателя возьмем отношения этих значений к его максимально допустимому значению. Это позволит сравнивать показатели по степени их приближения к максимальному значению. Например, субхарактеристика Д1 оценивается по четырем показателям: вероятности преодоления препятствия $P_{пп}$, $0 \leq P_{пп} \leq 1$, вероятности прибытия на исходный рубеж $P_{ир}$, $0 \leq P_{ир} \leq 1$, средней скорости движения на маршруте $S_{ср.}$, $0 \leq S_{ср.} \leq 50$ (км/ч), и среднему времени преодоления препятствия $T_{ср.пп}$, $0 \leq T_{ср.пп} \leq 30$ (с). Естественно, при комплексной оценке трудно сопоставлять такие значения, как, допустим, $P_{пп1} = 0,9$, $P_{ир} = 0,85$, $S_{ср.1} = 25$, $T_{ср.пп1} = 20$, поэтому проведем нормировку этих показателей. Максимальные значения показателей $P_{ппmax} = P_{ирmax} = 1$, $S_{ср.max} = 50$, $T_{ср.пп} = 25$, тогда $P_{пп1}^* = \frac{P_{пп1}}{1}$, $P_{ир1}^* = \frac{P_{ир1}}{1}$, $S_{ср.1}^* = \frac{S_{ср.1}}{S_{ср.max}}$, $T_{ср.пп1}^* = \frac{T_{ср.пп1}}{T_{ср.max}}$. В результате $P_{пп1}^* = 0,9$, $P_{ир1}^* = 0,85$, $S_{ср.1}^* = 0,5$, $T_{ср.пп1}^* = 0,8$, что позволяет сравнить данные показатели.

В качестве модели предпочтений показателей примем следующее условие: большие значения каждого отдельно взятого показателя будем предпочитать меньшим. Чтобы привести к этой модели все показатели, для $T_{ср.пп1}^*$ будем использовать обратные значения, $1 - T_{ср.пп1}^* = 0,2$. Теперь появляется возможность провести свертку частных показателей субхарактеристики Д1 к ее обобщенному показателю $\Pi_{Д1}$. Для этого используем следующее выражение:

$$\Pi_{Д1} = \sum_{j=1}^N \Pi_j \cdot V_j, \quad (2)$$

где N – число частных показателей соответствующей субхарактеристики, применительно к Д1 $N = 4$; V_j – весовой коэффициент j -го частного показателя Π_j .

Подставляя в формулу (2) ранее указанные значения показателей $P_{пп1}^*$, $P_{ир1}^*$, $S_{ср.1}^*$, $T_{ср.пп1}^*$ и весовых коэффициентов из таблицы 4, получим $\Pi_{Д1} = 0,9 \cdot 0,4 + 0,85 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,1 = 0,795$. Расчет обобщенных показателей Р1, Р2, Д2, Ц1, Ц2 осуществляется аналогичным способом.

Комплексную оценку каждой функциональной характеристики Р, Д и Ц определим с помощью выражения, похожего на (1) и (2). Применительно к характеристике Д оно будет иметь следующий вид:

$$\Pi_{Д} = \sum_{k=1}^Q \Pi_{Дk} \cdot W_k, \quad (3)$$

где Q – число обобщенных показателей соответствующей характеристики, для Д $Q = 2$; W_k – весовой коэффициент k -го обобщенного показателя $\Pi_{Дk}$.

Имея значения $\Pi_{Д1}$ и $\Pi_{Д2}$, допустим $\Pi_{Д2} = 0,8975$, проведем расчет комплексной оценки Д: $\Pi_{Д} = 0,795 \cdot 0,4 + 0,8975 \cdot 0,6 = 0,8565$. Таким же образом производится комплексная оценка характеристик Р и Ц.

Представленная расчетная процедура позволяет свернуть все оценки качества тестируемой СИИ для каждой из трех функциональных характеристик в единый комплексный показатель. В результате применения этой процедуры должно быть получено три скалярных комплексных показателя качества СИИ.

Для оценки функциональности СИИ должны быть определены критерии – параметры годности, при выполнении которых испытываемый объект считают выдержавшим испытания².

Рассмотрим возможный вариант формирования критериального правила для оценки качества СИИ:

1. Если значения всех характеристик больше или равны 0,9, то СИИ признается прошедшей испытания.
2. Если значения двух характеристик больше или равны 0,9, а третьей – не меньше 0,8, то испытания и оценка этой характеристики повторяются, в противном случае – испытание не пройдено. Если повторно не выполняется требование п.1, то СИИ считается не прошедшей испытания.
3. При невыполнении требований п.1, п.2 СИИ считается не прошедшей испытания.

В соответствии с этим правилом при условии, что комплексные оценки характеристик Р и Ц будут не меньше 0,9, полученное значение $\Pi_{Д} = 0,8565$ потребует повторного проведения испытаний и оценки характеристики Д.

3 Оценка качества СИИ с использованием средств нечеткого моделирования

В случае, когда определение четких количественных критериев оценки качества СИИ вызывает объективные сложности, целесообразно рассмотреть альтернативный вариант оценки по нечетким данным. В качестве примера возьмем возможную процедуру оценки субхарактеристики Р1 – распознавание препятствий (см. таблицу 2). Для реализации процесса нечеткого моделирования будем использовать объектно-ориентированную среду MATLAB с пакетом расширения Fuzzy Logic Toolbox [13].

Входными лингвистическими переменными (ЛП) определим показатели: вероятность распознавания ($P_{р1}$) и вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$), выходной ЛП – результат испытания. Для входных ЛП будем использовать терм-множество: «низкая», «средняя» и «высокая», для выходной ЛП – «положительный», «повторение» и «отрицательный». Структура системы нечеткого вывода представлена на рисунке 1.

В качестве функций принадлежности для термов входных и выходной переменных выбраны «треугольная» и «трапециевидная». Функции принадлежности и их параметры изображены на рисунке 2.

Построим базу правил нечетких продукций для системы нечеткого вывода по Мамдани, показанных на рисунке 3:

1. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «высокая» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «низкая», то «результат испытания» есть «положительный».
2. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «средняя» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «средняя», то «результат испытания» есть «повторение».
3. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «низкая» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «высокая», то «результат испытания» есть «отрицательный».

² ГОСТ РВ 15.211-2002 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2002.

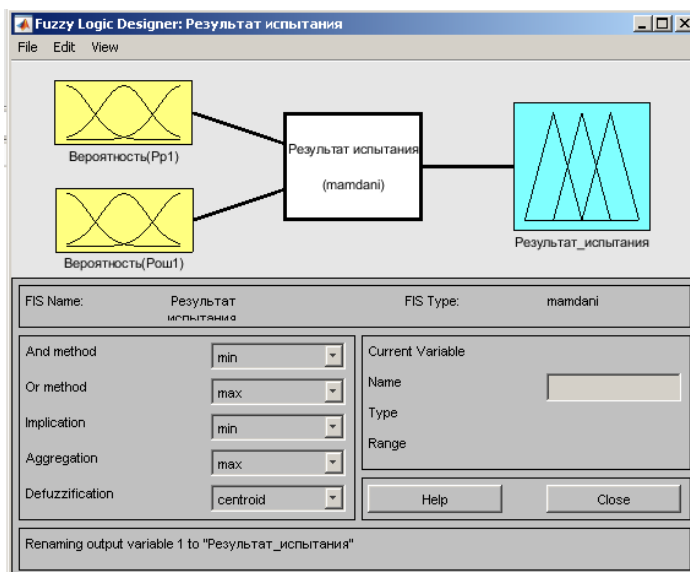


Рисунок 1 – Структура системы нечеткого вывода

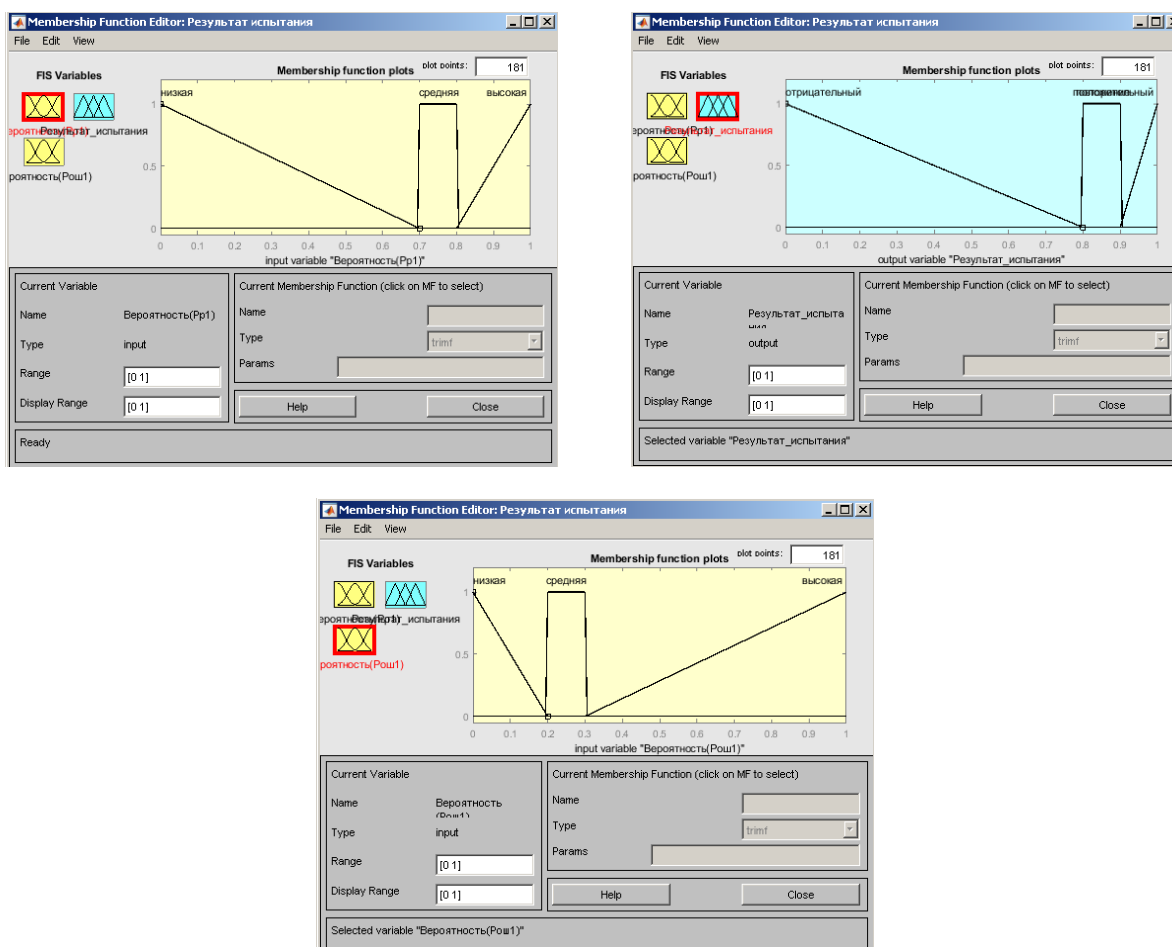


Рисунок 2 – Вид функций принадлежности для входных (вверху) и выходной (внизу) переменных

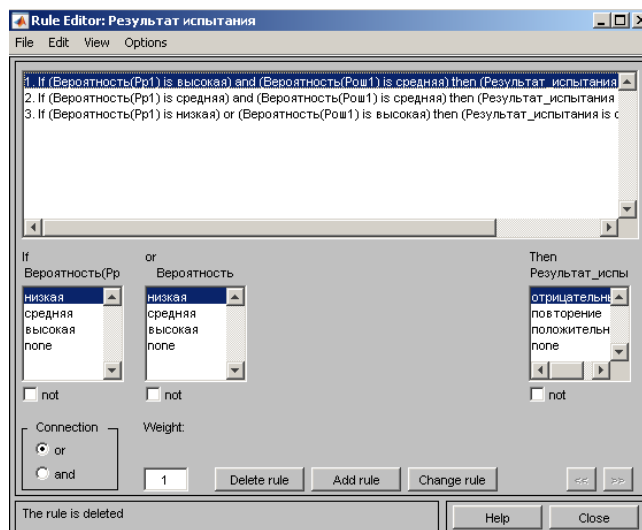


Рисунок 3 – База правил нечеткого вывода

После этого система нечеткого вывода готова к проведению расчетов. Введем значения входных переменных для случая, когда вероятность распознавания (P_{p1}) равна 0,8 и вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1p1}$) равна 0,2 (рисунок 4).

В этом случае фаззификация (процедура нахождения значений функции принадлежности) первой входной ЛП (P_{p1}) приводит к значению степени истинности 0 для термина «высокая» и 1 для термина «средняя», а фаззификация второй ЛП ($P_{ош1p1}$) приводит к значению истинности 0 для термина «низкая» и 1 для термина «средняя». Соответствующие подусловия используются в правилах нечетких продукций с номерами 1 и 2. Эти правила считаются активными и используются в текущем процессе нечеткого вывода.

Следующий этап нечеткого вывода: агрегирование – процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Условия правил 1 и 2 состоят из подусловий, связанных логическим «И», следовательно, при агрегировании используется операция *min*-конъюнкция. Агрегирование подусловий правила 1 дает в результате число 0, а агрегирование подусловий правила 2 – число 1.

На основе результатов агрегирования проводится процедура нахождения степени истинности каждого из заключений правил нечеткой продукции – активизация. Поскольку все заключения правил заданы в форме нечетких лингвистических высказываний вида: « ω есть α », а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила 1 приводит к заключению «положительный» со степенью истинности 0, активизация правила 2 – к заключению «повторение» со степенью истинности 1.

Далее осуществляется аккумуляирование – процедура нахождения функции принадлежности для выходной ЛП. Аккумуляирование заключений нечетких правил продукции с использованием операции *max*-дизъюнкция для правил 1 и 2 приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 4 (3 столбец, нижний график) и представляет собой функцию принадлежности для термина «повторение».

Заключительным этапом является дефаззификация – процедура нахождения числового значения для выходной ЛП. Дефаззификация выходной ЛП «результат испытания» методом центра площади (*centroid*) приводит к значению выходной переменной 0,85, что соответствует терму «повторение» (см. рисунок 4).

Для оценки влияния изменения значений входных ЛП на значение выходной ЛП применяется инструментарий построения поверхности нечеткого вывода (рисунок 5).

При необходимости можно построить график зависимости выходной переменной от одной из входных переменных, например, от ЛП «вероятность распознавания (P_{p1})» (рисунок 6).

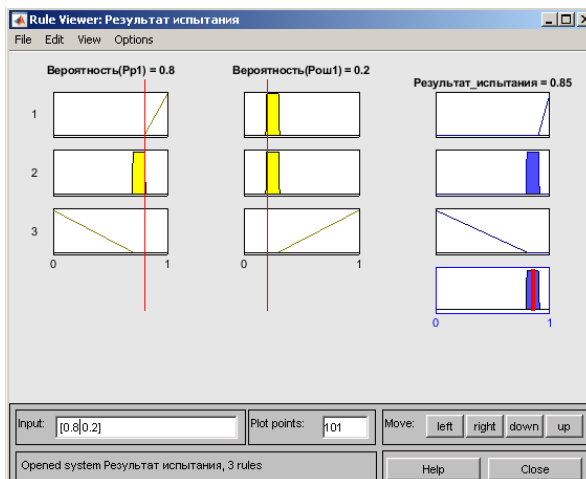


Рисунок 4 – Система нечеткого вывода после ввода входных переменных [0,8 0,2]

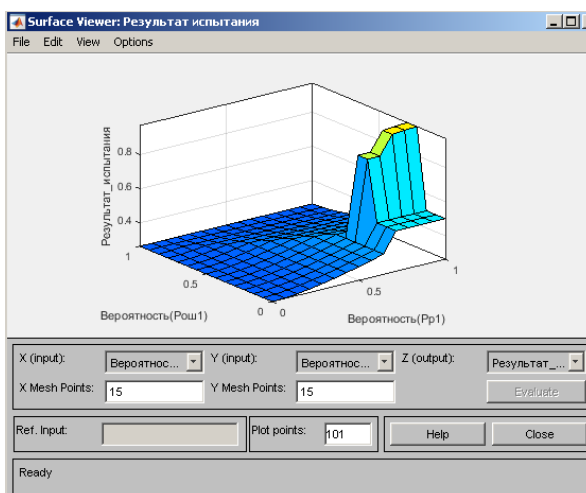


Рисунок 5 – Детерминированная поверхность нечеткого вывода

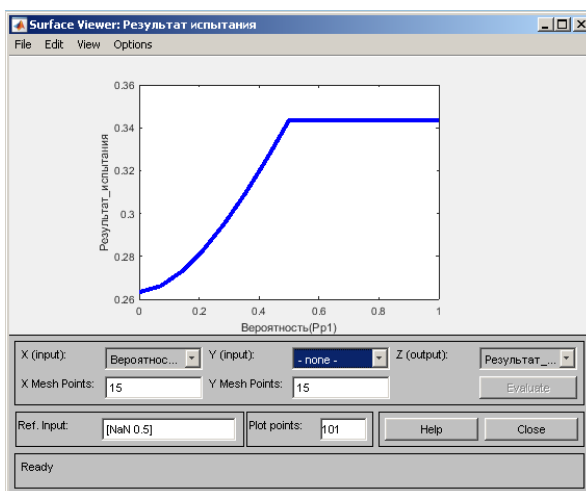


Рисунок 6 – График зависимости выходной переменной от входной ЛП

Таким образом, рассмотрен один из возможных подходов к оценке качества СИИ в ходе испытаний с применением средств нечеткого моделирования. Наиболее эффективными методы нечеткого моделирования являются в условиях, когда определение четких количественных критериев оценки вызывает объективные сложности, а также при необходимости работы с большим числом переменных, которые можно представить в виде аналитических, статистических или эвристических зависимостей. В этом случае применение средств нечеткого моделирования позволит существенно сократить общее время обработки и визуализации результатов испытаний, уменьшить трудоемкость и количество возможных ошибок по сравнению с более точными, но ресурсоемкими классическими методами.

Заключение

В ходе исследований проведен анализ и обоснован выбор методического аппарата, который позволяет реализовать комплексный подход к проведению различных видов испытаний и интегральной оценке функциональных характеристик СИИ. Предложенный подход представляет собой сочетание методов теории вероятностей, математической статистики, нечетких множеств и общей теории принятия решений. В частности, рассмотрен порядок применения метода получения обобщенного показателя и комплексной оценки качества СИИ на примере конкретной расчетной процедуры, а также альтернативный вариант оценки с использованием средств нечеткого моделирования.

Рассмотренный в статье комплексный методический подход может быть использован при разработке методик испытаний СИИ, технических средств и комплексов с различными уровнями автономности систем управления.

Список источников

1. Кудряшов Д.В., Липатников А.Д., Щербинин Е.В. Подходы к испытаниям искусственного интеллекта в части автономности мобильных роботов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Робототехника»: сб. статей IV Всерос. науч.-техн. конф. (г. Анапа, 2022, 20-21 июля). Анапа: ВИТ «ЭРА», 2022. С. 84-89.
2. Щербинин Е.В., Липатников А.Д., Кудряшов Д.В. К вопросу об испытании адаптивности в системе управления мобильных роботов как показателя технологии искусственного интеллекта // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Робототехника»: сб. статей IV Всерос. науч.-техн. конф. (г. Анапа, 2022, 20-21 июля). Анапа: ВИТ «ЭРА», 2022. С. 204-211.
3. Малов А.В., Лапа М.В., Гончаренко А.Ю. Методы испытаний систем технического зрения для морских роботов // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. трудов 8-й Междунар. молодежн. науч.-практ. конф. (г. Курск, 2021, 12 ноября). Курск: ЮЗГУ, 2021. С. 205-207.
4. Громов С.П., Корнилов В.И., Соколенко В.Н., Пантелеев А.Л., Наумов В.Н. Испытания наземных робототехнических комплексов военного назначения за рубежом // Труды НАМИ. 2016. №264. С. 79-91.
5. Частиков А.П., Глушко С.П., Тотухов К.Е. Компьютерная симуляция программного управления виртуальным роботом. Исследование, разработка, испытание. Saarbrücken: LAP Lambert, 2012. 136 с.
6. Горский А.С. Актуальные вопросы виртуальных испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2023. №2(64). С. 35-39.
7. Горский А.С. Методический подход к оцениванию характеристик интеллектуальных робототехнических средств // Вооружение и экономика. 2023. №1(63). С. 112-119.
8. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента. М.: Мир, 1981. 516 с.
9. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М.: Статистика, 1974. 300 с.
10. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 4-е изд. Т.2: Знания и рассуждения в условиях неопределенности. СПб.: Диалектика-Вильямс, 2021. 480 с.

11. Хохлачев Е.Н. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи: монография. Ч.1. М.: ВА РВСН, 2012. 235 с.
12. Хохлачев Е.Н., Перекрестов С.А. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи: монография. Ч.4. М.: ВА РВСН, 2012. 215 с.
13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

Информация об авторах

- А.С. Горский – кандидат технических наук, SPIN код автора 2164-7791.
В.М. Полушкин – кандидат технических наук.
А.В. Ермоленко – кандидат технических наук, SPIN код автора 8544-4195.