

Е.С. Щербаков<sup>1</sup>  
 М.К. Абрамович<sup>2</sup>  
 А.В. Кольванов<sup>3</sup>  
 П.В. Корчагин<sup>4</sup>

E.S. Shcherbakov  
 M.K. Abramovich  
 A.V. Kolyvanov  
 P.V. Korchagin

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
 И ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ  
 РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

**APPLICATIONS OF POSSIBILITY THEORY  
 AND PROBABILITY THEORY IN THE  
 EVALUATION OF COMBAT OPERATIONS  
 MODELING**

*В данной статье дана сравнительная оценка теории возможностей и теории вероятностей при оценке результатов моделирования боевых действий как при планировании, так и при моделировании боевых действий в реальном масштабе времени, например в боевых алгоритмах АСУ войсками и оружием.*

**Ключевые слова:** теория возможностей, теория вероятностей, имитационное моделирование, математическое моделирование, вероятностно-нечёткий подход.

*This article provides a comparative evaluation of the theory of possibilities and the probability theory by the evaluation of results of the simulation of combat operations, both by planning and simulating combat operations in real time, such as in combat algorithms ACS troops and weapons.*

**Keywords:** possibility theory, probability theory, simulative modeling, math modeling, probabilistic and fuzzy approach.

Вероятностные модели завоевали место на пьедестале математических моделей военных (боевых) действий благодаря двум своим фундаментальным свойствам:

– во-первых, в их математической основе лежат классические и непоколебимые математические теории, а именно: теория меры и общей теории интеграла [1];

– во-вторых, эмпирический базис, позволяющий со времён Якоба Бернулли [2] и по настоящее время при определённых условиях получать на основе крайне простых математических процедур оценку вероятностей случайных событий и числовых характеристик случайных величин.

Однако практика работы со случайными величинами убедительно доказывает, что вероятностные методы несостоятельны при моделировании сложных недетерминированных про-

цессов, причём к этим процессам можно смело отнести военные действия. Попытки интерпретации с помощью любого стиля математического моделирования военных действий, происшедших во Франции в мае – июне 1941 года, и особенно боевых действий немцев и бельгийцев в Эбен-Эмаэль, дают результаты, ничего не имеющие общего с реальностью [3].

Но этого мало. Главная проблема для современной практики имитационного моделирования заключается в почти полном отсутствии адекватных оценок эффективности элементарных составляющих боевых действий. Суть имитационного статистического моделирования заключается в получении априорно неизвестных статистических оценок сложных явлений на основе информации об априорно известных вероятностных характеристиках простейших элементов боевых действий [4]. При отсутствии подобной информации, что реально имеет место, статистическое имитационное моделирование становится несостоятельным [5]. Причина столь прискорбного состояния дел кроется в высокой стоимости проведения в настоящее время натуральных экспериментов с реальным вооружением. Ранее таких проблем не было.

<sup>1</sup> Кандидат технических наук, профессор, Военная академия воздушно-космической обороны, г. Тверь.

<sup>2</sup> Кандидат военных наук, профессор, Военная академия воздушно-космической обороны, г. Тверь.

<sup>3</sup> Кандидат военных наук, доцент, Военная академия воздушно-космической обороны, г. Тверь.

<sup>4</sup> Кандидат технических наук, Военно-космическая академия, г. Санкт-Петербург.

Так, например, при подготовке к принятию на вооружение зенитной ракетной системы ЗРС С-300 ПТ1 (1978 год) на полигоне было проведено более 800 пусков ЗУР за два года. При устранении замечаний, отмеченных в протоколах Государственной комиссии, было проведено ещё более 300 пусков. Статистический материал, как говорится, богатейший, хотя его всё равно не хватало для адекватного оценивания ТТХ ЗРС. Что уж тут говорить про современную ситуацию, когда массовых пусков вообще не проводится. Отметим также, что крайне убогий парк мишеней-имитаторов и мишеней-аналогов ещё более усугубляет ситуацию.

Следовательно, применение традиционных статистических методов в целом и методов имитационного статистического моделирования в частности не имеет ныне под собой надёжной эмпирической базы.

Но, допустим, что проблема с накоплением эмпирических данных каким-то образом решена. Будет ли в этом случае имитационное статистическое моделирование состоятельным и самодостаточным? Увы, сами принципы стохастического моделирования не позволяют получить те знания, которые нужны военным. Пусть, например, результаты имитационного статистического моделирования по оценке эффективности двух перспективных систем вооружения дают результаты, представленные в таблице.

Если судить об образцах вооружения по оценке математического ожидания эффективности, то первый образец предпочтительнее второго: его усреднённая оценка эффективности выше. Но если разбирать данный пример с точки зрения векторной оптимизации, то ни один из образцов не доминирует, по Парето. Таким образом, статистическое моделирование не позволяет рациональным образом сравнить два образца вооружения даже при наличии полной и достоверной информации об элементарных процессах, характеризующих функционирование этих образцов.

Таблица

**Результаты имитационного  
статистического моделирования**

№ образца вооружения	Прогнозируемая оценка эффективности (по результатам моделирования)	Оценка вероятности соответствующего значения эффективности	Оценка математического ожидания эффективности
1	0,8	0,5	0,6 (вариант предпочтительней)
	0,4	0,5	

2	0,6	0,5	0,55
	0,5	0,5	

По своей сути статистическое моделирование в контексте приведённых в таблице данных свидетельствует лишь о том, что при отражении большого количества совершенно идентичных ударов СВКН противника средняя эффективность для первого образца вооружения составит 0,6, а для второго – 0,55. Какая будет достигнута эффективность при отражении первого и, возможно, единственного удара противника по результатам имитационного статистического моделирования судить нельзя – сама природа статистического моделирования не позволяет этого сделать.

Но есть область научного знания, которая позволяет получить количественный прогноз эффективности при отражении, например, первого и, возможно, единственного удара противника, – это теория возможностей [6].

Теория возможностей позволяет учесть одновременно два вида неопределённости: нечёткость и случайность. В практических приложениях теория нечётких множеств хорошо работает совместно с методами теории вероятностей и математической статистики [7].

Пусть  $A$  – нечёткое подмножество множества

$$X = \{x_i\}, i = 1, 2, \dots, n$$

со степенью принадлежности  $\mu_A(x)$ , и пусть  $P_i$  – вероятность события  $x_i$ . Тогда математическое ожидание некоторой функции  $f$ , определённой на  $X$ , для дискретного случая определяется выражением:

$$C_p(f, A) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \mu_A(x_i) P_i. \quad (1)$$

Предложенное определение (1) обеспечивает органическую связь теории нечётких множеств с традиционными подходами, основанными на теоретико-вероятностной интерпретации неопределённостей и позволяет более детально описывать существующие неопределённости в исходных данных, причём, при необходимости – в сочетании с методами традиционной статистики.

В настоящее время принято выделять четыре базовых вида вероятностей: классическая, частотная, логическая и субъективная [8]. При этом каждый из них удовлетворяет исходным аксиомам теории вероятностей [9]. Что же даст вероятностно-нечёткая интерпретация исходных данных, приведённых в таблице? Для 1-го образца вооружения получается результат, представленный на рис. 1. Упомянутые на рисунке гипотезы А, В, С означают: гипотеза А – результат

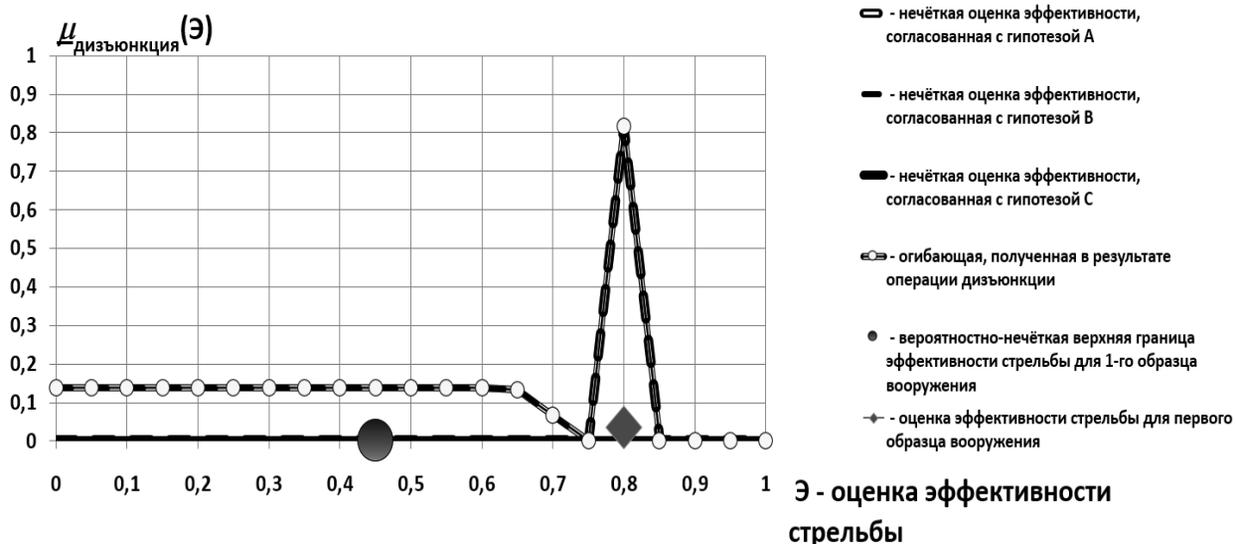


Рис. 1. Вероятностно-нечёткая оценка эффективности стрельбы 1-го образца вооружения в первом, и, может быть, единственном, противовоздушном бою, равная 0,45

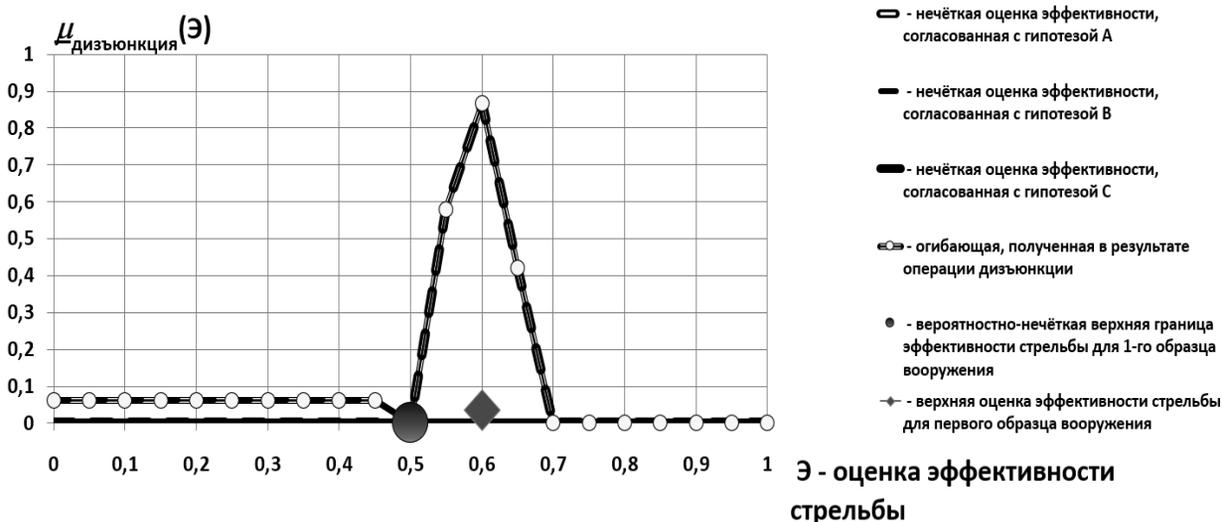


Рис. 2. Вероятностно-нечёткая оценка эффективности стрельбы 2-го образца вооружения в первом, и, может быть, единственном, противовоздушном бою, равная 0,5

стрельбы близок к средневзвешенной оценке 0,6 (см. таблицу); гипотеза В означает, что результат стрельбы близок к максимальной оценке 0,8; гипотеза С означает, что результат стрельбы близок к минимальной оценке 0,4.

Для 2-го образца вооружения получается результат, представленный на рис. 2.

Таким образом, вероятностно-нечёткая оценка эффективности отдаёт предпочтение 2-му образцу вооружения, что противоречит результатам, полученным на основе чисто вероятностного подхода. Но необходимо подчеркнуть, что вероятностно-нечёткая оценка в контексте дан-

ной задачи полностью согласуется с результатами максиминного и игрового подходов. И это не удивительно, потому что, согласно [6], оба указанных подхода являются частными случаями теории возможностей.

В целом необходимо отметить, что теория и практика применения вероятностно-нечёткого подхода к оценкам исхода уникальных и единичных событий даёт результаты, всегда превосходящие по точности результаты чисто вероятностного подхода. Так как в военном деле каждое ошибочное решение может оказаться для командира последним, использование вероятностно-

нечёткого подхода, базирующегося на теории возможностей, имеет большие перспективы внедрения, и особенно эти перспективы хорошо просматриваются в алгоритмах АСУ управления войсками и оружием.

### Литература

1. Сакс С. Теория интеграла. – М. : Иностранная литература, 1949.
2. Гнеденко Б.В. Краткий очерк истории теории вероятностей. – М. : ГТТИЛ, 1954.
3. Бауэр Г. Смерть через оптический прицел. – М. : Яуза–Пресс, 2009.
4. Абрамович М.К., Дорожкин А.Д., Колыванов А.В. Моделирование и оценка эффективности боевых действий : учебник / под ред. Е.С. Щербакова. – Тверь : ВА ВКО, 2015.
5. Пашенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем : в 2 ч. – М. : Финансы и статистика, 2006. – Математические основы моделирования систем. Ч. 1.
6. Пытьев Ю.П. Теория возможностей. Математические основы и применения. – М.: Физматлит, 2005.
7. Zadeh, L.A. Probability measures of fuzzy events // J. Math. Anal. Appl. – 1968. – No 10. – Pp. 421–427.
8. Боровков А.А. Теория вероятностей. – М. : Наука, 1986.
9. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М. : Наука, 1974.