

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХОДА И ИСХОДА БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Е.С. Щербаков, А. Д. Дорожкин, А.В. Колыванов

Разработка математической модели – центральный этап исследования любой сложной системы и планирования боевых действий. От качества модели зависит как судьба эффективного применения системы вооружения, так и успех сражения или боя. Сложность отечественных систем вооружения и военной техники, высокий темп ведения боевых действий определяют высокую сложность задачи разработки математических моделей вооружённого противоборства. Особенно сложно моделировать процессы, протекающие в условиях неопределённости. А неопределённость обстановки – постоянный фактор, сопутствующий планированию и ведению боевых действий.

Практика показывает, что моделирование даже самых простых условий обстановки, например, стрельба зенитными ракетами без помех по одному и тому же типу цели таит в себе множество подводных камней, обусловленных влиянием фактора неопределённости. Командиры, зная плотность потока однотипных целей, пространственные огневые возможности подразделений зенитных ракетных войск, а также эффективность стрельбы одной зенитной ракетой по цели, могут за минуту вычислить математическое ожидание количества уничтоженных целей. Но при этом они могут здорово ошибиться. Дело в том, что при проведении тактических расчётов на основе существующих методик эффективность стрельбы оценивается вероятностью поражения цели одной зенитной ракетой. А именно эта вероятность не известна, более того, эту вероятность никто и никогда не вычислял. Вычисляется только оценка вероятности, то есть величина случайная, оцениваемая с большой относительной погрешностью, характеризующая математическим ожиданием и дисперсией. То есть в справочнике дано среднее значение вероятности поражения цели (эффективности стрельбы), равное 0,5, но реально эта вероятность может быть равной 0,3. «Ну и что?…» – может сказать неискушённый в моделировании боевых действий читатель – «...В среднем всё равно будет сбито 50% воздушных целей, хотя иногда будет уничтожаться только 30%, а иногда 70%». К сожалению, всё обстоит гораздо хуже. Если в ходе противовоздушного боя противник стремится путём огневого воздействия создать коридор пролёта для ударных средств, выполняющих главную задачу – уничтожение важного объекта, то при эффективности стрельбы 0,5 и выше в ходе боя будут уничтожены все воздушные цели. Но при эффективности стрельбы 0,3 и менее до момента формирования коридора пролёта будет уничтожено не более 10% воздушных целей. Небольшая ошибка в оценке эффективности стрельбы ведёт к радикальному изменению машинного прогноза итогов боя. Таким образом, в ходе статистического моделирования боевых действий само значение вероятности поражения цели должно рассматриваться как случайная величина. Значение этой вероятности перед каждой реализацией должно разыгрываться по правилам статистического моделирования в соответствии с законом распределения оценки указанной вероятности. Если этого не делать, то модель боевых действий станет не состоятельной по Колмогорову¹, что означает, прежде всего, крайне низкую достоверность результатов моделирования. Как это не печально звучит, но большинство математических моделей, с которыми приходилось работать авторам, относятся именно к типу несостоятельных. Классики

теории исследования операций не обращали ни малейшего внимания на статистические свойства оценок эффективности огневых средств. Почему так получилось? Мы думаем, что это предмет отдельного исследования.

Одной из главных проблем, возникающих при корректном учёте статистического характера оценки эффективности стрельбы данного огнестрельного средства по данной цели в ходе статистического моделирования, является резкое снижение темпа сходимости результатов статистического моделирования при росте числа машинных реализаций. В самом деле, корректный учёт требует перед каждым машинным экспериментом проводить отдельный статистический розыгрыш значения эффективности стрельбы для каждой пары «воздушная цель – огнестрельное средство». При моделировании боевых действий в рамках соединения ВКС таких пар может оказаться несколько десятков. Кроме того, розыгрыш должен проводиться с учётом особенности электронной и метеорологической обстановки, которая в границах одного соединения совсем не однородна, что ещё сильнее запутывает и усложняет процесс моделирования, снижает темп сходимости результатов моделирования. Закончится всё это может безмерным затягиванием процесса математического моделирования и потерей одного из главных его достоинств – оперативности. Алгоритм, учитывающий подобным образом статистический характер оценок эффективности стрельбы в дальнейшем называется «медленным».

Выход из столь неприятной ситуации может быть найден на основе отказа от парадигмы вероятностного моделирования и переходе к парадигме теории возможностей частными случаями которой являются аксиоматики теории возможностей и классической теории вероятностей. Это направление математики не отрицают, а обобщают традиционные представления. Понимание необходимости разработки эффективного математического аппарата для работы с неопределённостями, в том числе и субъективной природы, осознание недостатков теоретико-вероятностных методов, привело к бурному развитию и формированию в последние 30 лет ряда новых научных дисциплин: интервального анализа, теории нечётких множеств, теории возможностей и теории свидетельств.

В настоящее время постепенно становится ясным, какие подходы, в каких ситуациях и в каких сочетаниях нужно использовать. Весь этот комплекс новых теорий и методов (включая классическую теорию вероятностей) движется к естественному объединению в общую теорию анализа неопределённостей. Процесс этот не завершён и из всего многообразия новых теорий и методов оперирования с неопределённостями наибольшее распространение в практических приложениях получили методы теории нечётких множеств (и связанной с ней теории возможностей) и прикладного интервального анализа.

Предлагается методический подход, базирующийся на одном из простейших приёмов теории возможностей, позволяющий учесть статистический характер оценок эффективности своих огневых средств и мер противодействия противника и обеспечить высокую оперативность тактических расчётов с применением имитационных статистических моделей боевых действий.

Суть данного подхода заключается в следующем. На начальном этапе оцениваются границы доверительного интервала оценки эффективности стрельбы зенитными ракетами. Левая граница интервала будет в дальнейшем обозначаться «нижним уровнем» оценки эффективности зенитного ракетного огня в простых условиях. Правая граница интервала – «верхним уровнем». Середина интервала будет соответствовать «средний уровень». Эффективность мер противодействия противника также оценивается по трём аналогичным уровням. Возможные пары характера оценок

эффективности зенитного ракетного огня и мер противодействия противника представлены в таблице.

Таблица
Пары вариантов сравнения огневой эффективности своих войск с огневой эффективностью противника

№ варианта	Характер оценки эффективности зенитного ракетного огня в простых условиях	Характер оценки эффективности мер противодействия противника (с точки зрения противника)
1	Нижний уровень	Верхний уровень
2	Нижний уровень	Средний уровень
3	Средний уровень	Верхний уровень
4	Средний уровень	Средний уровень
5	Верхний уровень	Верхний уровень
6	Верхний уровень	Средний уровень
7	Нижний уровень	Нижний уровень
8	Средний уровень	Нижний уровень
9	Верхний уровень	Нижний уровень

Путём предварительного статистического моделирования для 9 пар точечных оценок получаются 9 интервальных оценок показателей эффективности стрельбы (рис. 1).

На рисунке символами \mathcal{E}_i^- и \mathcal{E}_i^+ обозначены соответственно левая и правая границы доверительного интервала, соответствующего i -му варианту, указанному в таблице.

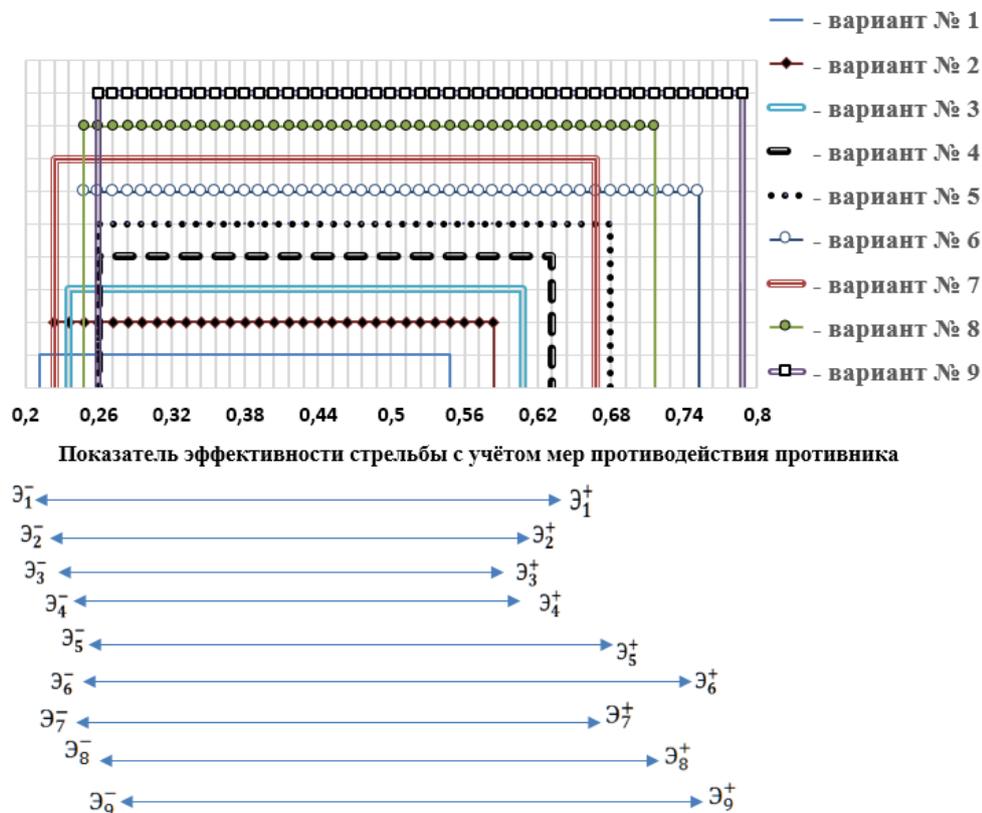


Рис. 1. Интервальные оценки показателей эффективности стрельбы с учётом мер противодействия противника

Большое количество полученных интервальных оценок определяет целесообразность обобщения полученного статистического материала. Результатом такого обобщения стали три интервальных оценки, представленные на рис. 2.

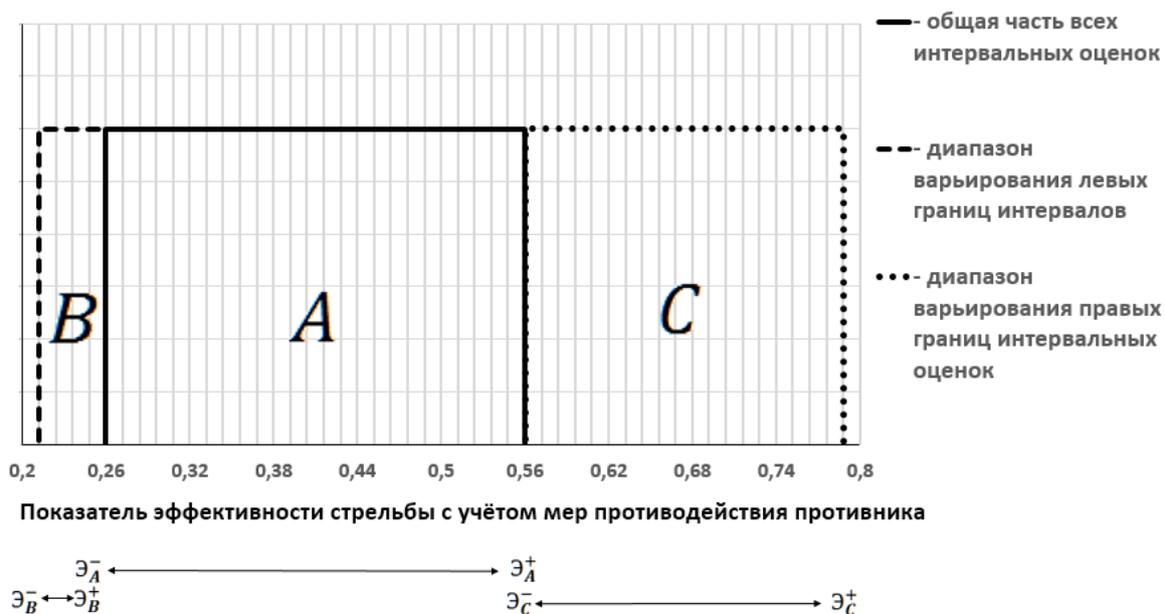


Рис. 2. Результат обобщения интервальных оценок, представленных на рис. 1

Небольшое количество полученных интервалов, полученных после обобщения существенно упрощает дальнейшие действия. Далее проводится статистическое моделирование боевых действий с предварительным статистическим розыгрышем как значений эффективности стрельбы зенитными ракетами, так и эффективности мер противодействия со стороны противника. Указанное действие проводится вне контекста оперативного получения оценок эффективности того или иного варианта замысла операции (боевых действий). Поэтому время для накопления статистического материала не лимитируется и точность статистических оценок может быть достигнута очень высокая, например не превышать 5% от среднего значения – для моделирования боевых действий такая точность считается очень высокой. После получения эталонной оценки эффективности боевых действий $\mathcal{E}_{\text{бд}}^{\text{этал}}$ на основе «медленного» статистического алгоритма с предварительным розыгрышем значений эффективности стрельбы и мер противодействия противника начинается процедура поиска единственной (точечной) оценки эффективности стрельбы зенитными ракетами в условиях противодействия. Для этого в каждой реализации выбирается значение показателя эффективности из диапазона значений $[\mathcal{E}_B^-, \mathcal{E}_C^+]$. Закон выборки внутри данного интервала равномерный. Если получаемая в ходе моделирования оценка эффективности не превышает 5%, то соответствующий интервал A, B, C , из которого была выбрано значение оценки эффективности получает соответствующий бонус – его вес увеличивается на единицу. В итоге каждый из интервалов A, B, C получает вес n_A, n_B, n_C , характеризующий

количество реализаций, при которых аппроксимация оценкой эффективности из данного интервала оказалась достаточно удачной.

После этого высота прямоугольников, соответствующих интервалам A, B, C (рис. 2) устанавливается пропорционально весам n_A, n_B, n_C соответственно (рис. 3). И, наконец, находится проекция на ось абсцисс центра масс фигуры, полученной в результате объединения прямоугольников, отображённых на рис. 3. Согласно теории возможностей проекция центра масс и будет наиболее точной аппроксимацией эффективности стрельбы, которую можно применять в математических моделях боевых действий не разыгрывая перед каждой реализацией возможное значение эффективности стрельбы для каждой пары «огневое средство – воздушная цель». Погрешность данной методики не превышает 7 – 10% от номинального значения оценки эффективности, получаемой при «медленном» алгоритме статистического моделирования.

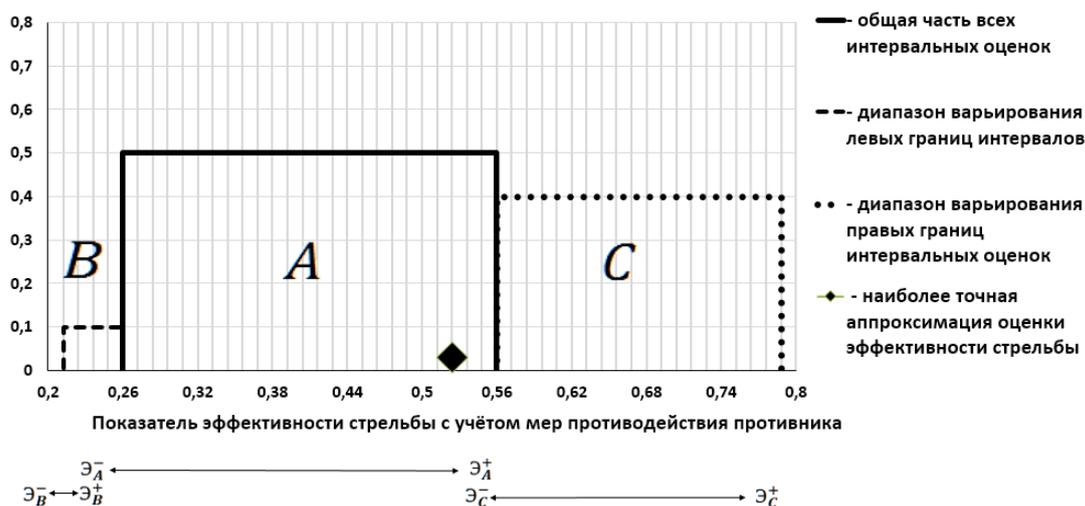


Рис. 3. Формирование наиболее точной аппроксимации оценки эффективности стрельбы

Использование точечных оценок позволяет получать оценки прогнозируемой эффективности принимаемых решений в течении 1–2 минут (для масштаба соединения). Использование тех же вычислительных ресурсов «медленного алгоритма» статистического моделирования требует проведение вычислений в течении нескольких суток, что конечно же не приемлемо в условиях военного времени.