

УДК 355/359

**А.В. ЛЕОНОВ**, доктор экономических наук,  
профессор  
**С.Г. БРАЙТКРАЙЦ**, доктор технических  
наук, старший научный сотрудник  
**А.Ю.ПРОНИН**, кандидат технических наук,  
доцент

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЭТАПАХ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОГО ОРУЖИЯ

*Рассматривается возможность комплексного применения различных методов моделирования для оценки реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений при создании нового оружия.*

**Ключевые слова:** научно-технологические достижения; перспективное вооружение; моделирование; методы; фундаментальные исследования.

Создание перспективного вооружения весьма сложный и затратный процесс, который чаще всего начинается с формирования научно-технического задела (НТЗ), создания макетных, экспериментальных, а затем опытных и серийных образцов, при этом заделная фаза может составлять примерно 10% от общих затрат на их создание [1]. Учитывая, что затраты на каждой последующей стадии жизненного цикла образца вооружения возрастают примерно на порядок, накопление научно-технических и технологических результатов на ранних стадиях его создания всегда предпочтительнее, чем на более поздних стадиях. Обусловлено это следующим обстоятельством. С одной стороны, отказ от реализации недостаточно эффективных результатов на ранних стадиях менее затратен, а с другой – результаты, полученные на ранних стадиях, имеют более высокий потенциал широкого (универсального) использования в образцах перспективного вооружения. При этом целесообразность разработки того или иного образца должна тесно увязываться с целями и задачами создания совокупности унифицированных образцов, а также с требованиями заказчиков к их характеристикам и свойствам. Причем эти требования должны формулироваться с учетом возможности создания: с одной стороны, научно-технического задела на основе выполнения взаимосвязанных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию перспективных технологий, а с другой – возможности установления оптимальных параметров конструктивно-технологической схемы перспективного образца, обеспечивающей требуемые его характеристики в разрабатываемой или модернизируемой совокупности образцов. Поэтому одна из важнейших задач создания перспективного вооружения заключается в сочетании результатов фундаментальных и прикладных исследований с оптимальными научно-техническими и технологическими решениями (с учетом возможностей унификации) в целях обеспечения требований заказчиков к эффективности перспективного вооружения при его минимальной стоимости.

Таким образом, современный этап создания перспективного вооружения характеризуется переходом от традиционной парадигмы проектирования отдельного конкретного образца к новой парадигме – системному проектированию целостной унифицированной совокупности перспективных образцов в интересах одного или нескольких заказчиков, которая должна обеспечивать выполнение широкого спектра задач и максимальную адаптацию к тем или иным условиям применения (эксплуатации). В соответствии с основными положениями, изложенными в работе [2], ключевыми этапами системного проектирования являются:

- анализ широкого спектра научно-технологических достижений и оценка возможности их использования при создании нового оружия;
- формирование научно-технического задела как инновационной основы создания новых поколений оружия и оценка его готовности для постановки опытно-конструкторских работ;
- обоснование облика и определение тактико-технических требований к образцам;

- определение основных технических и технологических решений образцов нового оружия (этапы технического и технологического проектирования);
- изготовление экспериментальных и опытных образцов, проведение их натурных испытаний;
- проработка вопросов боевого применения и интеграции нового оружия в состав системы вооружения;

Именно поэтому в последние годы все большую актуальность приобретает использование методов моделирования, позволяющих: во-первых, установить взаимосвязь требований, предъявляемых заказчиком к перспективному вооружению, и потребностей в проведении фундаментальных научных исследований, направленных на создание НТЗ; во-вторых, оценить реализуемость и эффективность предлагаемых научно-технических и технологических решений при создании перспективного вооружения. Острая необходимость в таких оценках обусловлена, в первую очередь, потребностью в поддержке принятия решений по обоснованию выбора рациональных вариантов перспективного вооружения на каждом этапе системного проектирования. Следует отметить, что общими недостатками существующих методов моделирования являются: их весьма разрозненный характер, они касаются, в основном, отдельных этапов системного проектирования, опираются на различный методический аппарат и исходные данные. И, самое главное, они не позволяют дать комплексную оценку реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений при создании перспективного вооружения.

В этой связи далее рассматривается возможность комплексного применения различных методов моделирования на этапах системного проектирования перспективного вооружения, в том числе методов многоэтапного экспертного моделирования и имитационного моделирования, а также совместного использования с ними возможностей искусственного интеллекта.

### **Метод многоэтапного экспертного моделирования**

В основу предлагаемого метода, основанного на экспертных оценках, для оценки реализуемости и эффективности научно-технологических достижений в перспективных образцах вооружения положена логическая взаимосвязь требований, предъявляемых заказчиком к перспективному вооружению, и потребностей в проведении фундаментальных научных исследований (ФНИ), направленных на создание научно-технического задела. Сущность задачи формирования рационального состава приоритетных ФНИ состоит в том, чтобы при невозможности финансирования всех ФНИ отобрать такие направления исследований, ожидаемые результаты которых обеспечили бы максимальное научно-техническое влияние на создание перспективных образцов вооружения с учетом финансовых ограничений. При этом отобранные ФНИ должны быть максимально востребованы при создании перспективного вооружения.

С методической точки зрения практическая реализация отмеченной выше логической взаимосвязи осуществляется следующим образом. Вначале образцы перспективного вооружения разбиваются на основные функционально-технологические блоки (ФТБ), совершенствование которых оказывает наибольшее влияние на достижение заданных требований к характеристикам перспективного вооружения. Затем экспертно определяются направления технологических разработок, которые позволяют усовершенствовать каждый ФТБ. При этом осуществляется оценка «достаточности» существующих технологий, в противном случае определяется «приращение» технологий, необходимое для повышения боевых возможностей перспективного вооружения. По результатам анализа состава важнейших технологий экспертно определяется необходимый состав ФНИ, результаты которых позволят сформировать соответствующий НТЗ для проведения прикладных исследований в интересах создания перспективного вооружения. Далее в интересах повышения обоснованности состава приоритетных ФНИ, ожидаемые результаты которых будут иметь целевую направленность на разработку перспективного вооружения, проводится ранжирование направлений исследований в соответствии с их научно-техническим влиянием на перспективный образец вооружения. Таким образом, задача обоснования рационального состава ФНИ становится, по своей сути, задачей многокритериальной коллективной экспертизы.

В этой связи для обеспечения наиболее полного охвата вопросов, связанных с определением потребностей в ФНИ с учетом требований, предъявляемых к перспективному вооружению, целесообразно привлечение экспертного сообщества. Наиболее распространенным и результативным методом многокритериальной коллективной экспертизы при обосновании приоритетов научно-технологического развития в условиях недостаточного объема количественных исходных данных является метод анализа иерархий Т. Саати [3]. Применительно к решению поставленной задачи данный метод был модифицирован в направлении многоэтапного экспертного моделирования процесса оценки влияния научно-технологических достижений на создание перспективного вооружения. Суть модификации заключается в построении некоторого многоуровневого множества информационно-логических матриц оценок влияния результатов ФНИ на создание перспективного образца. В результате достаточно сложный процесс оценки влияния результатов ФНИ на создание перспективного вооружения представлен как многоэтапный процесс экспертного моделирования. Таким образом, преодолеваются методические трудности, связанные с непосредственной оценкой влияния результатов ФНИ на создание перспективного вооружения.

Содержание метода многоэтапного экспертного моделирования приведено на рисунке 1. Рассмотрим основные этапы экспертного моделирования.

**Этап 1.** Формирование сквозной информационно-логической схемы: перспективный образец – ФТБ – технологии – ФНИ.

**Этап 2.** Формирование матрицы оценок влияния каждого нижестоящего уровня на вышестоящий уровень (для каждого уровня информационно-логической схемы, начиная с ее первого уровня), например:

- в матрице «перспективный образец вооружения – ФТБ» оценивается влияние качества ФТБ на показатели перспективного образца вооружения (1-й уровень);
- в матрице «ФТБ – технологии» оценивается влияние результатов прикладных исследований (ПИ) на новые возможности ФТБ (2-й уровень);
- в матрице «технологии – ФНИ» оценивается возможность реализации результатов ФНИ в прикладных исследованиях и технологических разработках (3-й уровень).

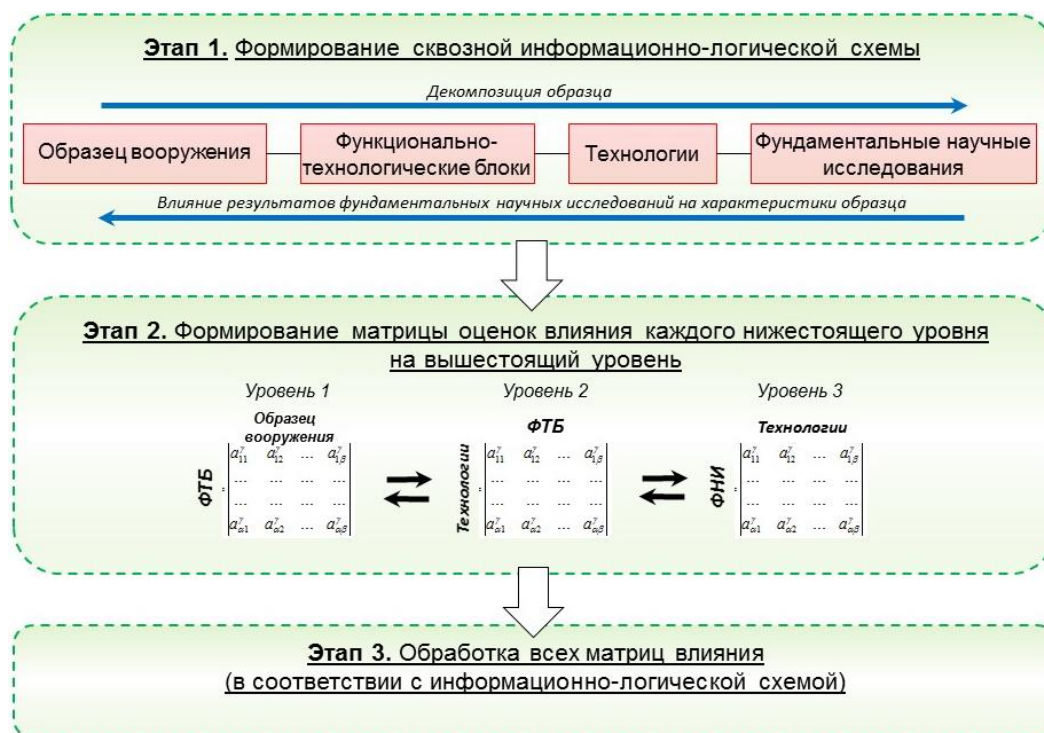


Рисунок 1 – Содержание метода многоэтапного экспертного моделирования

Общее формализованное представление матрицы влияния имеет следующий вид:

$$A^\gamma = \begin{bmatrix} a_{11}^\gamma & a_{12}^\gamma & \dots & a_{1\beta}^\gamma \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{\alpha 1}^\gamma & a_{\alpha 2}^\gamma & \dots & a_{\alpha\beta}^\gamma \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – номер уровня информационно-логической матрицы;  $a_{ij}^\gamma$  – оценка влияния элементов  $\gamma$ -го уровня иерархии (строки матрицы) на элементы вышестоящего уровня иерархии (столбцы матрицы);  $\alpha$  – количество элементов  $\gamma$ -го уровня иерархии;  $\beta$  – количество элементов вышестоящего уровня иерархии.

Для проведения экспертных оценок используется вербально-числовая (знаковая) шкала, предложенная в работе [1]:

- а) фактор не оказывает влияния на оцениваемый объект  $a_{ij}^\gamma = 0$ ;
- б) фактор оказывает незначительное влияние на объект  $a_{ij}^\gamma = 1$ ;
- в) фактор оказывает значительное влияние на объект  $a_{ij}^\gamma = 2$ ;
- г) фактор оказывает преобладающее влияние на объект  $a_{ij}^\gamma = 3$ .

В случае участия в экспертизе нескольких специалистов оценки всех экспертов рассчитываются с учетом их компетентности (при условии нормировки значений компетентности экспертов) и определяются результирующие оценки матрицы влияния на каждом ее уровне.

**Этап 3.** Последовательная обработка всех матриц влияния (в соответствии с информационно-логической схемой – «сверху-вниз») и оценка вектора влияния факторов на объекты методом строчных сумм. С этой целью для каждой матрицы влияния осуществляются следующие операции:

- а) рассчитывается сумма элементов строки:

$$S_i^\gamma = \sum_{j=1}^{\beta} a_{ij}^\gamma w_j^{\gamma-1}, \quad i = \overline{1, \alpha}; \quad (2)$$

где  $w_j^{\gamma-1}, j = \overline{1, \beta}$  – вектор влияния факторов предшествующего уровня;

- б) определяются путем нормирования составляющие вектора влияния факторов на объекты на уровне  $\gamma$  по формуле:

$$w_i^\gamma = \frac{S_i^\gamma}{\sum_{i=1}^{\alpha} S_i^\gamma}, \quad i = \overline{1, \alpha}. \quad (3)$$

Оценка влияния ожидаемых результатов ФНИ на разработку важнейших технологий осуществляется с использованием набора критериев, приведенных на рисунке 2.



Рисунок 2 – Критерии оценки влияния ожидаемых результатов ФНИ на разработку важнейших технологий создания перспективного вооружения



В интересах оценки влияния ожидаемых результатов ФНИ на создание перспективных образцов последовательно на всех уровнях осуществляется операция взвешивания, на основе которой формируются приведенные оценки  $w(x_i)$  влияния результатов ФНИ на создание перспективных образцов вооружения. Таким образом, находится решение задачи формирования рационального состава приоритетных ФНИ с учетом имеющихся финансовых ограничений. Однако такая ситуация характерна для случаев, когда отсутствует возможность удовлетворения потребности фундаментальных исследований в полном объеме. При большом количестве ФНИ простой перебор альтернативных вариантов оказался крайне затруднительным, так как потребовал огромных вычислительных и временных ресурсов. Именно поэтому для практической реализации предложенного метода многоэтапного экспертного моделирования используется методический аппарат динамического программирования, а в перспективе могут быть использованы другие более прогрессивные методы, например, имитационного моделирования и искусственный интеллект.

*Пример.*

В данном примере практическая реализация метода многоэтапного экспертного моделирования рассмотрена с использованием динамического программирования.

Иерархическая схема определения потребностей в ФНИ для создания перспективного образца вооружения представлена на рисунке 3.

Отбор экспертов для оценки научно-технического влияния ожидаемых результатов ФНИ на показатели перспективного образца вооружения осуществляется на основании значений показателей, характеризующих качество коллективной экспертизы и ее участников, в том числе [4; 6]: коэффициент аргументации принимаемого экспертом решения; коэффициент осведомленности эксперта; коэффициент компетентности эксперта и коэффициент представительности экспертной группы. Данные показатели определяются согласно подходу к формированию экспертных групп и проведению коллективной экспертизы, изложенному в работе [4]. В соответствии с разработанным методом определяются доминирующие последовательности для каждого функционально-технологического блока. Красным цветом обозначены доминирующие последовательности для важнейших технологий, определяющих технический уровень ФТБ. На завершающем этапе формируется общая доминирующая последовательность для перспективного образца вооружения.

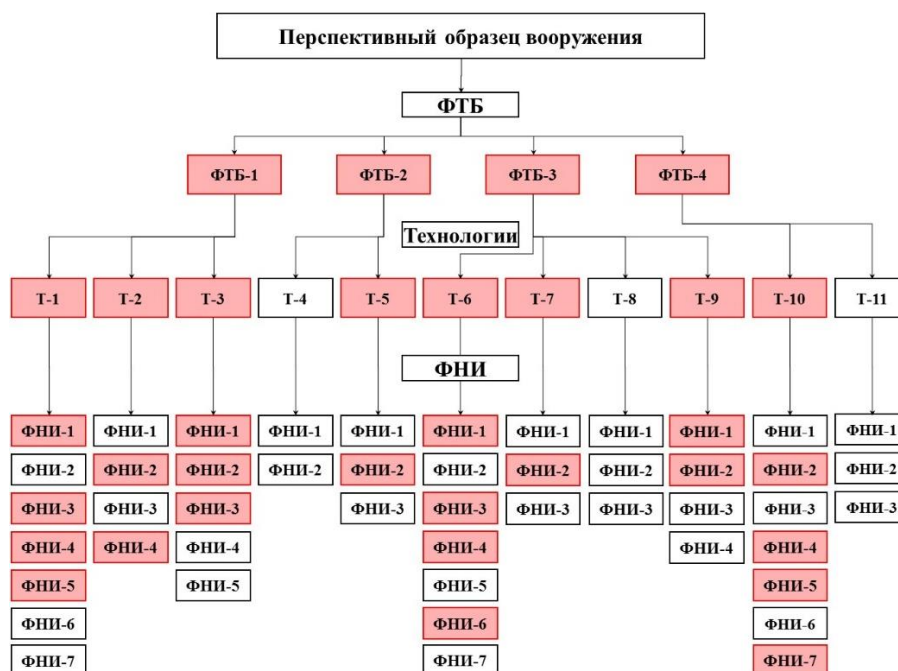


Рисунок 3 – Иерархическая схема определения потребностей в ФНИ для создания перспективного образца вооружения

Использование предложенного метода экспертного моделирования в практической деятельности органов планирования и управления созданием перспективного вооружения позволит организовать взаимоувязанный и нацеленный на конечный результат цикл исследований

ФНИ → технологии → ФТБ → перспективный образец вооружения

с учетом существующих финансово-экономических ограничений. Это позволит также повысить эффективность реализации результатов НИР фундаментального характера в прикладных исследованиях в интересах создания перспективных, в том числе нетрадиционных образцов вооружения. Для повышения эффективности предложенного метода и охвата более широкого спектра мнений в рассматриваемой области в качестве экспертов целесообразно привлекать: генеральных конструкторов по направлениям создания перспективного вооружения; руководителей приоритетных технологических направлений; специалистов заказывающих управлений и научно-исследовательских организаций федеральных органов исполнительной власти, в том числе Минобороны России, организаций РАН и высшей школы, а также предприятий – разработчиков перспективного вооружения. В целом, предложенный метод представляет собой объективный инструмент выбора приоритетных ФНИ, исходя из потребностей создания перспективных образцов вооружения и возможных достижений отечественной науки. Кроме того, этот метод является достаточно универсальным и поэтому может использоваться для решения практических задач обоснования мероприятий по планированию НТЗ для создания перспективных, в том числе нетрадиционных, образцов вооружения.

Однако у экспертного подхода есть весьма существенные недостатки. Общими недостатками этого подхода является низкая оперативность получения экспертных оценок в сроки, определенные заказчиком или разработчиком перспективного образца, что обусловлено значительной размерностью процесса оценки, уровнем квалификации и субъективизмом привлекаемых экспертов, сопутствующих организационных процедур экспертных оценок и их обработки. Это делает невозможным получить четкую коллективную оценку технологий и с системных позиций оценить интегральную реализуемость и эффективность научно-технических и технологических решений в рассматриваемой совокупности образцов перспективного вооружения при решении конкретных боевых задач. Тем не менее, метод экспертного моделирования имеет хорошие перспективы развития в следующих направлениях: внедрение искусственного интеллекта; совершенствование интеллектуальных человеческих ресурсов (собственно, естественного интеллекта), привлекаемых к экспертным оценкам, и самих процедур коллективной экспертизы, отмеченных выше.

## Метод имитационного моделирования

Одним из наиболее прогрессивных подходов к оценке реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий является использование имитационного моделирования, которое в настоящее время находит все более широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом, на этапах системного проектирования перспективного вооружения.

Имитационное моделирование осуществляется посредством моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения. Оценка реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий с использованием метода имитационного моделирования целесообразно начинать с уточнения исследуемой предметной области, ее структуризации и выделения иерархических уровней, поскольку каждый уровень технологий, несомненно, потребует разработки своей (соответствующей) совокупности моделей. Например, в качестве технологических уровней могут рассматриваться: технологии создания перспективных образцов вооружения; технологии функционально полных систем, блоков и модулей (технологии, направленные на модернизацию образцов); технологии комплектующих изделий (элементов) и материалов (технологии повышения качества образцов). Несмотря на то, что такое разделение носит достаточно условный характер и четкой границы между указанными уровнями нет, данная стратификация технологий и соответствующих моделей представляется удобной именно в целях имитационного моделирования.

Таким образом, предметную область имитационного моделирования в интересах обоснования создания перспективного вооружения составляют: технологии создания перспективного вооружения, а также их функционально-технологических блоков, комплектующих изделий (элементов) и материалов; существующие и перспективные образцы перспективного вооружения; сценарии боевого применения перспективного вооружения совместно с существующими (традиционными) видами вооружения.

После отграничения и стратификации предметной области формулируются функции имитационных моделей, в частности, и имитационного моделирования вообще, в контексте задачи оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий. Приведем пять наиболее распространенных функций имитационных моделей [5]: уточнение и упорядочение знаний о технологии; демонстрация исследуемого объекта, системы или технологии; обучение и тренаж; прогнозирование; проведение эксперимента. Из представленного перечня функций имитационных моделей для оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий наибольший интерес представляет имитационное моделирование как методология прогнозирования и как средство эксперимента. Особенно актуальным является такое моделирование и соответствующие оценки для технологий нетрадиционного вооружения, поскольку является наиболее сложным, трудноформализуемым и существенно различающимся в зависимости от вида имитируемого объекта ВВСТ. Зачастую методик испытаний и методик прогнозирования развития нетрадиционного ВВСТ практически нет. Меньшую ценность для оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий представляют модели, как средство обучения, хотя и здесь имитационное моделирование процессов планирования боевых действий (задач), предварительной оценки эффективности может оказаться незаменимым.

Сравнительная структурно-функциональная схема оценки реализуемости научно-технологических решений в образцах перспективного вооружения при существующем подходе, основанном на методах экспертных оценок и при использовании метода имитационного моделирования, приведена на рисунке 4.

Основными преимуществами метода имитационного моделирования по сравнению с экспертными оценками являются [5]:



Рисунок 4 – Структурно-функциональная схема оценки реализуемости научно технологических решений в образцах перспективного вооружения

- сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий. При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;
- наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов перспективного вооружения с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий и этапом формирования научно-технического задела;
- сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел создания перспективного вооружения;
- возможность непрерывного мониторинга всех этапов системного проектирования перспективного вооружения;
- возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

В области имитационного моделирования в организациях ОПК созданы и применяются модели функционирования существующих и перспективных образцов вооружения и отдельных систем, блоков модулей, спроектированных для применения в этих образцах. Для работы с этими моделями используются стенды имитационного моделирования. Однако, в силу узкой специализации и специфики моделируемых процессов и объектов данные средства ограничены в способности воспроизводить динамику функционирования существенно отличающихся друг от друга образцов вооружения (в частности, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, объектов бронетехники, надводных кораблей и подводных лодок с различными сочетаниями элементов бортовых систем управления). Кроме того, здесь требуется синтезировать алгоритмы комплексной обработки информации, решать вопросы интеграции комплексов бортового оборудования, тем более оценивать применимость и эффективность разрабатываемых технологий (особенно технологий нетрадиционного вооружения) в конкретных образцах ВВСТ в задаваемых условиях боевого применения.

В этой связи необходимо проведение системных исследований по формированию методологии обоснования направлений военно-технической политики в области новейших научно-технических и технологических решений. Основными результатами таких исследований должны стать:

- структурно-функциональные схемы интеграции и комплексного применения имитационных моделей и моделирующих комплексов в Вооруженных Силах РФ;
- методические и технологические основы формирования и сопровождения базы знаний в интересах моделирования и поддержки принятия решений задач формирования военно-технической политики в области оборонных технологий;
- математические методы и информационные технологии моделирования необходимой детализации процессов применения современных и перспективных (в том числе нетрадиционных) образцов ВВСТ и методик оценки их эффективности при решении боевых задач.

В качестве аппаратной реализации и демонстрации результатов таких исследований может быть предложено создание макета первой очереди (с ограничением количества моделируемых технологий) имитационных экспериментальных стендов для оценки реализуемости и эффективности технологий перспективного вооружения (высокоточного, гиперзвукового и лазерного оружия и т.д.).

Создаваемые имитационные модели должны быть: простыми и понятными потребителю; надежными и обладающими информационной полнотой с точки зрения решения главных задач; адаптивными, позволяющими легко переходить к разным объектам моделирования.

В этой связи чрезвычайно важно определить потребителя результатов имитационного моделирования. Потребителем результатов имитационного моделирования являются органы военного управления, отвечающие за развитие закрепленной номенклатуры перспективного вооружения и формирование предложений в проекты государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа.

Весьма перспективным направлением оценки реализуемости и эффективности новых технологий является использование искусственного интеллекта в существующих и разрабатываемых методах экспертного и имитационного моделирования.



## Перспективы использования искусственного интеллекта

Несмотря на то, что искусственный интеллект в той или иной форме начал применяться с 1950-х гг., он по-прежнему находится в стадии становления: до сих пор отсутствует четкая и понятная терминология, недостаточно разработаны научные основы искусственного интеллекта и др.

В этой связи, учитывая существующие методологические трудности, наиболее целесообразным при решении прикладных задач системного проектирования (в том числе оценки реализуемости и эффективности новых технологий) представляется комплексное (совместное) использование методов экспертного и имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта (метод гибридного моделирования).

Составные части гибридного моделирования показаны на рисунке 5.



Рисунок 5 – Составные части гибридного проектирования

Одной из главных проблем внедрения искусственного интеллекта (с учетом упомянутых выше методологических трудностей) в существующие и разрабатываемые методы экспертного и/или имитационного моделирования является определение их рационального соотношения, то есть степени их интеграции (гибридизации). Для решения указанной проблемы ниже предлагается методический подход, практически апробированный на отдельных этапах системного проектирования нового оружия [2].

Рассмотрим основное содержание данного подхода применительно к оценке комплексного (совместного) применения искусственного интеллекта и методов экспертного и/или имитационного моделирования. В принципе, можно сформулировать три направления решения прикладных задач системного проектирования перспективного вооружения на основе комплексирования различных методов моделирования:

первое направление – частичное использование элементов искусственного интеллекта в существующих методах экспертного и/или имитационного моделирования (собственно, как сейчас и осуществляется оценка научно-технических и технологических решений перспективного вооружения);

второе направление – совместное использование возможностей искусственного интеллекта в разрабатываемых методах экспертного и/или имитационного моделирования (это вполне осуществимо в настоящее время);

третье направление – полномасштабное использование инструментальных возможностей искусственного интеллекта (это должно быть осуществлено в недалеком будущем).

Для каждого из этих направлений оценка целесообразности и эффективности применения искусственного интеллекта может быть сформулирована в трех вариантах:

1. Минимизация затрат на решение прикладных задач за счет использования возможностей искусственного интеллекта при заданной эффективности и времени решения этих задач.

2. Максимизация эффективности решения прикладных задач за счет использования искусственного интеллекта при заданных затратах и времени решения этих задач.

3. Минимизация времени решения прикладных задач за счет использования возможностей искусственного интеллекта при заданной эффективности и затратах на решение этих задач.

Общий алгоритм оценки целесообразности и эффективности применения искусственного интеллекта можно представить в виде следующей последовательности действий (в данном случае под затратами понимаются и затраты времени на решение прикладных задач):

1. Оценка эффективности  $W_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  и затрат  $C_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  на решение  $i$ -й прикладной задачи ( $\forall i = \overline{1, I}$ ) с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования.

2. Оценка эффективности  $W_i^{\text{ГМ}}$  и затрат  $C_i^{\text{ГМ}}$  на решение  $i$ -й прикладной задачи ( $\forall i = \overline{1, I}$ ) на основе совместного использования методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта (то есть гибридного моделирования).

3. Сравнительная оценка полученных результатов:

а)  $W_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  и  $W_i^{\text{ГМ}}$  при фиксированных затратах  $C_i$  на решение  $i$ -й прикладной задачи;

б)  $C_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  и  $C_i^{\text{ГМ}}$  при фиксированной эффективности  $W_i$  решения  $i$ -й прикладной задачи.

Очевидно, что объем прикладных задач системного проектирования, возлагаемых на искусственный интеллект, будет определяться тем перечнем и объемом задач, которые назначает ему заказчик (потребитель) результатов экспертного и/или имитационного моделирования (то есть естественный интеллект), что в свою очередь непосредственно влияет на сравниваемые показатели эффективности и затрат. Собственно этим и определяется многовариантность их сравнительной оценки. В этой связи главной особенностью предложенного методического подхода является необходимость:

- формирования множества возможных вариантов совместного использования методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта;
- выбора из них парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов;
- обоснования выбора рациональных вариантов лицом, принимающим решения.

В качестве примера, иллюстрирующего эту особенность, на рисунке 6 показано графическое отображение области парето-оптимальных вариантов.

В области  $G$  находятся оптимальные варианты, которые обеспечивают:

а) максимальное приращение эффективности  $\Delta W_i^{\text{ГМ}}$  решения  $i$ -й задачи при заданных затратах  $C_{i \text{ зад.}}$  на ее решение при комплексном (совместном) применении различных методов моделирования по сравнению с эффективностью  $W_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  решения этой задачи с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования;

б) максимальное снижение затрат  $\Delta C_i^{\text{ГМ}}$  на решение  $i$ -й задачи при требуемой эффективности ее решения  $W_{i \text{ треб.}}$  при комплексном (совместном) применении различных методов моделирования по сравнению со стоимостью ее решения  $C_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$  с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования.



Рисунок 6 – Область парето-оптимальных вариантов совместного применения методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта

Предложенный методический подход может найти практическое применение при решении прикладных задач системного проектирования, в том числе оценки реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений. Кроме того, данный подход может быть использован для разработки двухуровневого метода планирования потребных затрат на внедрение искусственного интеллекта на этапах создания перспективного вооружения, использование которого позволит планировать верхний ( $C^B$ ) и нижний ( $C^H$ ) уровни затрат в рамках соответствующих программ и проектов. При этом для определения  $C^H$  может учитываться такой фактор, как риск нехватки (дефицит) бюджетных средств для создания перспективного вооружения.

Сформированные представления о гибридном моделировании могут быть положены в основу оценки технологий и систем искусственного интеллекта и, в целом, теории и методологии гибридного моделирования.

Внедрение искусственного интеллекта целесообразно предусматривать на всех этапах системного проектирования перспективного вооружения, в том числе: при предъявлении к нему требований; создании; при испытаниях, производстве и принятии на вооружение, эксплуатации и боевом применении. Комплексное использование различных методов моделирования совместно с возможностями искусственного интеллекта может позволить:

- осуществлять тактико-техническое и технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности создания нового оружия за заданное время и с минимальными возможными затратами;
- определить роль и место нового оружия в составе системы вооружения;
- разработать тактико-техническое задание на опытно-конструкторскую работу по созданию опытного образца.

Таким образом, важнейшей задачей комплексного использования и развития методов моделирования в интересах создания перспективного вооружения является поэтапная, планомерная и скоординированная работа по внедрению искусственного интеллекта. При этом этапность предполагает последовательное осуществление комплекса мероприятий по внедрению искусственного интеллекта для решения задач системного проектирования перспективного вооружения. Планомерность заключается в создании и совершенствовании перспективного вооружения с элементами искусственного интеллекта, согласно концепциям его развития, которые должны реализовываться через государственную программу вооружения, государственный оборонный заказ, государственные, федеральные и ведомственные программы. Координация состоит в тесной увязке предлагаемых мероприятий по созданию и оснащению ВС РФ перспективным вооружением с элементами искусственного интеллекта с результатами проводимых фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований.

## Заключение

1. Диапазон выполняемых в настоящее время НИОКР и объем научно-технологического задела, сформированного в последние десятилетия, диктуют необходимость создания инструментария для оперативного оценивания реализуемости и эффективности имеющих научно-технических и технологических решений для конкретного образца вооружения и конкретного сценария боевых действий. Данное обстоятельство продиктовано, в первую очередь, потребностью в поддержке принятия решения на этапах системного проектирования перспективного вооружения.

2. Оценка реализуемости разрабатываемых технологий может осуществляться на всех этапах системного проектирования перспективного вооружения, начиная от анализа широкого спектра научно-технологических достижений до оценки возможности их использования при создании нового оружия и его интеграции в состав системы вооружения ВС РФ. Учитывая многовариантность оценки разрабатываемых технологий на каждом этапе системного проектирования, множественность подходов по созданию информационного и программно-алгоритмического обеспечения, использование аппарата экспертных оценок становится практически неподъемным. Показано, что дальнейшее совершенствование

метода экспертного моделирования возможно в следующих направлениях: развитие методов имитационного моделирования, внедрение искусственного интеллекта; совершенствование интеллектуальных человеческих ресурсов (собственно, естественного интеллекта), привлекаемых к экспертным оценкам и самим процедурам коллективной экспертизы.

3. Одним из путей разрешения сложившегося положения в области оценки научно-технического и технологического задела может стать активно применяемое научно-исследовательскими организациями ОПК РФ и аналогичными структурами за рубежом при разработке, создании, испытаниях и эксплуатации (боевом применении) образцов вооружения имитационное моделирование. Имитационное моделирование осуществляется на основе моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения, в том числе комплексных тренажеров подготовки операторов объектов военной техники всех видов базирования. К достоинствам такого подхода к оценке применимости разрабатываемых технологий в перспективных образцах вооружения относятся:

- сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий. При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;
- наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов вооружения, с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий, и этапом формирования научно-технического задела;
- сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел;
- возможность непрерывного мониторинга всех фаз системного проектирования и создания перспективных систем и комплексов;
- возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

4. Дальнейшим развитием методов экспертного и имитационного моделирования становится внедрение искусственного интеллекта (гибридное моделирование). Основные принципы внедрения искусственного интеллекта в существующие и разрабатываемые методы моделирования в интересах создания перспективного вооружения: этапность, плановость и координация работ по внедрению искусственного интеллекта. Необходимы системные исследования по формированию методологии гибридного моделирования, в том числе применительно к области новейших научно-технических и технологических решений.

#### Список использованных источников

1. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Граница, 2007. – 406 с.
2. Леонов А.В., Пронин А.Ю. О важности системного проектирования нового оружия // Вооружение и экономика. 2021. №1(55). – С. 28-49.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 236 с.
4. Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем: монография / Под ред. Е.Я. Рубиновича. М.: Ленанд, 2016. – 520 с.
5. Брайткрайц С.Г., Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Реулов Р.В. Оценка реализуемости разрабатываемых технологий для сложных технических систем // Компетентность. 2022. №9-10. – С. 16-25.
6. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.