

УДК 355/359

**А.В. ЛЕОНОВ**, доктор экономических наук,  
профессор**А.Ю.ПРОНИН**, кандидат технических наук,  
доцент

## МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕХОДА К НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ

*На основе анализа общей модели развития технологий, учитывающей этапы создания научно-технического задела для перспективного вооружения, представлены методы обоснования оптимального перехода к новой технологии, основанные на оценке эффективности: новой технологии; существующей и новой технологии; совместного использования этих технологий. Предложен алгоритм выбора методов и направления их практического использования.*

**Ключевые слова:** технология; научно-технический задел; военно-экономическая оценка; метод оценки технологий; перспективное вооружение.

### Введение

Много веков тому назад была высказана мысль об искусстве делать надлежащий выбор из множества возможных вариантов, содержащихся в настоящем: «акты нашего выбора не определяются нашим характером, а наоборот, их последовательность делает нас теми, кем мы являемся» [1]. Эта глубокая мысль имеет важнейшее значение для современного этапа инновационно-технологического развития отечественной системы вооружения, особенно при обосновании перехода от существующих технологий к новым технологиям. Актуализация данной проблемы в современных геополитических и экономических условиях обусловлена объективным наличием следующего противоречия. С одной стороны, недостаточная осмотрительность и запаздывание в решении ключевого вопроса отбора новых (и особенно принципиально новых) технологий для внедрения в перспективные образцы вооружения чревата очень негативными последствиями для обороны страны и безопасности государства. Однако, с другой стороны, создание перспективного вооружения – это весьма сложный, затратный и длительный во времени процесс, предполагающий использование новых физико-технических принципов и эффектов либо применение уникальных производственных процессов и технологий для создания перспективного вооружения. Создание перспективного вооружения (например, основанного на технологиях искусственного интеллекта, гиперзвуковых, лазерных, информационных и других новых технологиях) имеет существенные отличительные особенности по сравнению с созданием традиционных видов вооружения, построенных на уже известных принципах и уже достаточно хорошо отработанных технологиях. Целесообразность разработки того или иного перспективного образца вооружения должна тесно увязываться с возможностями по созданию научно-технического задела (НТЗ) на основе выполнения взаимоувязанных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию перспективных технологий. Только при наличии достаточно зрелого НТЗ могут быть установлены оптимальные параметры конструктивно-технологической схемы, обеспечивающей требуемые заказчиком тактико-технические характеристики перспективного образца в разрабатываемой или модернизируемой совокупности унифицированных образцов. Данная задача решается на этапах технологического проектирования перспективного (в том числе нетрадиционного) вооружения [2-4].

В этой связи одной из важнейших задач в создании перспективного вооружения является определение оптимального момента перехода от существующей технологии к новой технологии. Анализ развития военных и промышленных технологий [2; 5] показал, что при разработке новых технологий необходимо учитывать множество факторов неопределенности (риска). При этом неопределенности в общем случае могут быть как внешними

(например, связанные с секторальными санкциями со стороны США и стран Евросоюза), так и внутренними (научно-техническими, финансово-экономическими и производственно-технологическими возможностями промышленных предприятий по созданию перспективного вооружения). К числу внутренних также следует отнести факторы риска, связанные с самим процессом и временем разработки новых технологий, а также уровнем развития методов их оценки. Именно наличие данных факторов обуславливает необходимость оптимизации процесса перехода к новым технологиям. С учетом множества факторов, влияющих на процессы создания перспективного вооружения, задача установления оптимального перехода к новым технологиям стала весьма актуальной, требующей неотложного решения.

В этой связи далее обобщены и классифицированы методы обоснования оптимального перехода к новой технологии, предложен алгоритм выбора методов и направления их практического использования. При этом авторы опирались на общую модель развития технологий, учитывающую этапы создания научно-технического задела для перспективного вооружения, и современные методы оценки новых технологий [2; 3; 5].

### Общая модель развития технологий

Общая модель развития технологий на примере совместного планирования создания и использования существующих, разрабатываемых и перспективных изделий высокотехнологичной продукции (ВТП) представлена на рисунке 1.

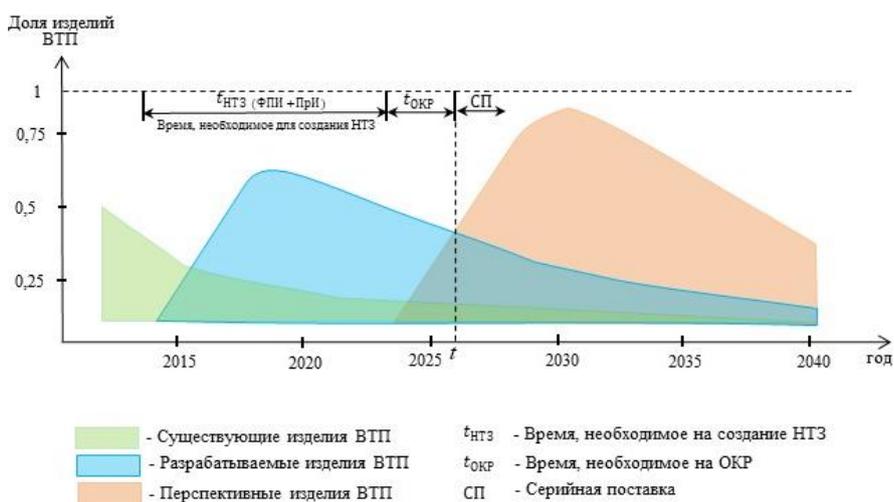


Рисунок 1 – Общая модель развития технологий

На рисунке 1 отображена следующая информация:  
 необходимые временные интервалы: для создания НТЗ, в том числе на проведение фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований (ФППИ) и прикладных исследований (При); на проведение опытно-конструкторских работ (ОКР); на серийные поставки (СП);  
 доля изделий ВТП на основе существующих, разрабатываемых и перспективных технологий;

момент остановки (время  $t$ ) процесса совершенствования (модернизации) существующей технологии и перехода к разработке новой технологии.

При этом предполагается, что существующие изделия ВТП базируются на уже достаточно хорошо отработанных технологиях, нашедших практическое применение при создании промышленной продукции (традиционные технологии). Разрабатываемые изделия ВТП также будут основаны на традиционных технологиях. В основу создания перспективных изделий ВТП предполагается внедрить принципиально новые технологии.

Отметим роль научно-технического задела в обосновании возможности и целесообразности перехода к новым технологиям при создании перспективного вооружения. Под научно-техническим заделом понимается совокупность полученных на определенный момент времени результатов фундаментальных, прогнозных, поисковых и прикладных исследований и разработок, представленных в следующих формах [2]:

научных знаний о явлениях, физико-химических эффектах, законах и закономерностях, имеющих оборонное значение;  
технологий военного и двойного назначения;  
материалов и веществ, элементной базы и составных частей разрабатываемых образцов вооружения;  
алгоритмов и программ для ЭВМ;  
лабораторного, технологического, производственного и испытательного оборудования;  
экспериментальных и макетных образцов вооружения;  
аванпроектов, ТТЗ на НИР и ОКР;  
концептуальных, нормативно-технических, методических и других документов.

Процесс создания НТЗ в интересах проведения опытно-конструкторских работ включает в себя этапы формирования научного, научно-технологического и производственно-технологического заделов. При этом «задельная» фаза поглощает примерно 10% от общих затрат бюджетных средств на создание перспективного вооружения. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что создание перспективного вооружения с незрелым НТЗ приводит к увеличению (по сравнению с первоначальной оценкой) сроков его создания в среднем в 1,9 раза, повышению стоимости разработки – в среднем на 40%, повышению стоимости закупки финальных образцов – на 20% [2; 5].

Именно на этапах создания НТЗ решается задача обоснования оптимального перехода к новым технологиям, которая заключается в разрешении следующего противоречия: либо создавать новые технологии для их внедрения в перспективные образцы вооружения, либо дальше совершенствовать (модернизировать) существующие технологии.

Представленная на рисунке 1 модель положена в основу обоснования оптимального перехода к новым технологиям на основе использования современных методов оценки технологий.

### Современные методы оценки технологий

В рамках данной статьи рассмотрены следующие методы:  
классический метод военно-экономической оценки;  
методы сравнительной оценки эффективности существующих и новых технологий;  
метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий.

Рассмотрим основное содержание данных методов.

#### *Классический метод военно-экономической оценки*

Классический метод основан на совместном использовании следующей триады критериев: эффективность ( $W$ ), затраты ( $C$ ), время ( $T$ )<sup>1</sup>. В данном случае приняты следующие обозначения:  $W$  – эффективность новой технологии;  $C$  – затраты ресурсов на разработку новой технологии (вследствие того, что разработка новой технологии требует расхода разнородных ресурсов, наиболее часто этот показатель имеет стоимостную форму);  $T$  – время разработки новой технологии.

Задача оценки новых технологий состоит в формировании различных вариантов достижения поставленной цели с использованием новых технологий, всестороннем их анализе и нахождении наиболее предпочтительного варианта. В зависимости от характера решаемой задачи оценки новых технологий один из перечисленных выше критериев обычно выбирается главным, а два других выступают в качестве ограничений.

<sup>1</sup> Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: учебник. М.: ВУ, 2015. – 340 с.

Применительно к задаче оценки целесообразности разработки новой технологии классическими являются следующие три формулировки (постановки):

$$W \rightarrow \max \text{ при } C \leq C_{\text{выд}}, T \leq T_{\text{зад}}. \quad (1)$$

$$C \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{треб}}, T \leq T_{\text{зад}}. \quad (2)$$

$$T \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{треб}}, C \leq C_{\text{выд}}. \quad (3)$$

Если требуется разработать новую технологию в заданное время  $T_{\text{зад}}$  с максимально возможным уровнем эффективности  $W$  и при этом уложиться с расходом ресурсов  $C$  в объем, не превышающий заданный уровень ( $C_{\text{выд}}$ ), то формулировка задачи будет иметь вид согласно выражению (1).

Вторая формулировка задачи (2) имеет место в случае, когда время на разработку новой технологии задается ( $T_{\text{зад}}$ ) и требуется достичь уровня эффективности не ниже требуемого ( $W_{\text{треб}}$ ) при минимальном расходе ресурсов  $C$ .

Третья формулировка задачи (3) направлена на минимизацию времени  $T$  разработки новой технологии, когда задан уровень ее эффективности  $W$  и известно ограничение по ресурсам  $C_{\text{выд}}$ .

В обобщенном виде возможные варианты постановки задачи военно-экономической оценки новых технологий приведены в таблице 1.

В качестве примера на рисунке 2 показан алгоритм военно-экономической оценки новых технологий (для 1 и 2 варианта постановки задачи).

Таблица 1 – Возможные варианты постановки задачи военно-экономической оценки новых технологий

Постановка задачи	Эффективность новой технологии, $W$	Затраты на разработку новой технологии, $C$	Время разработки новой технологии, $T$
1	$W \rightarrow \max$	$C \leq C_{\text{выд}}$	$T \leq T_{\text{зад}}$
2	$W \geq W_{\text{треб}}$	$C \rightarrow \min$	$T \leq T_{\text{зад}}$
3	$W \geq W_{\text{треб}}$	$C \leq C_{\text{выд}}$	$T \rightarrow \min$

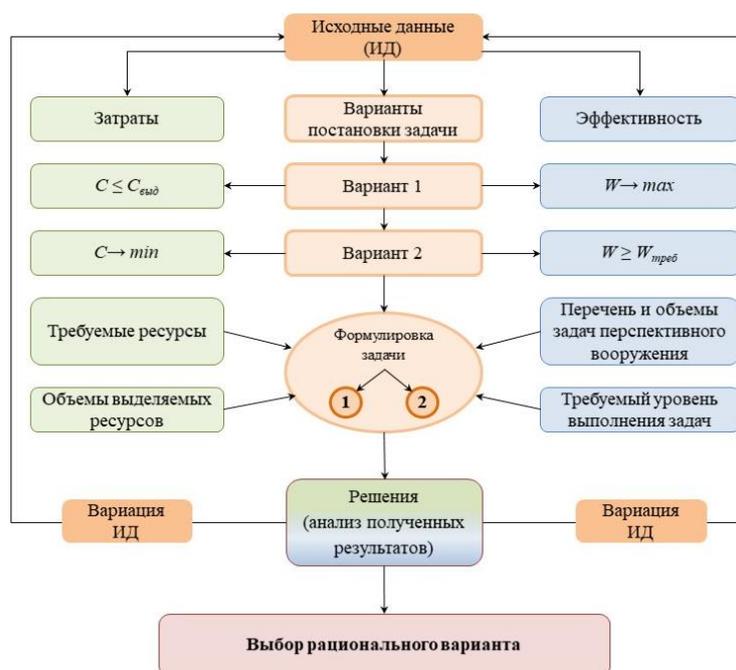


Рисунок 2 – Алгоритм военно-экономической оценки новых технологий

Основными исходными данными (ИД) являются: вектор показателей, характеризующих содержание задач, для решения которых предназначено перспективное вооружение с использованием новых технологий (перечень, объемы, сроки, требуемая эффективность выполнения и необходимые для этого ресурсы); состояние разработки образца перспективного вооружения на начало программного периода; состояние и перспективы развития новых технологий за рубежом; методы и модели оценки эффективности решения задач перспективным вооружением с использованием новых технологий; прогнозируемые объемы затрат на разработку новых технологий.

Основные этапы военно-экономической оценки новых технологий: подготовка исходных данных; выбор варианта постановки задачи (1 или 2); формулировка отдельных условий задачи в соответствии с выбранным вариантом постановки; решение задачи и анализ полученных результатов; вариация исходных данных в соответствии с вариантами расчетов; выбор рационального варианта новой технологии; обобщение полученных результатов.

Методы военно-экономической оценки в настоящее время широко используются при обосновании создания перспективного вооружения на основе новых технологий, в том числе нетрадиционных видов вооружения [2].

### Методы сравнительной оценки существующих и новых технологий

Данные методы основаны на учете факторов неопределенности при разработке новых технологий и, прежде всего, параметров, определяющих их эффективность, и времени поступления информации о ходе разработки.

Для формулирования задачи обоснования оптимального перехода к новым технологиям с учетом данных факторов воспользуемся общей моделью развития технологий (см. рисунок 1). Кроме того, примем следующие допущения: существующие образцы вооружения базируются на традиционных технологиях, то есть достаточно хорошо отработанных и нашедших практическое применение при создании традиционного вооружения; разрабатываемые образцы вооружения будут базироваться на новых, в том числе принципиально новых, технологиях.

С учетом упомянутых выше факторов неопределенности и принятых допущений задача обоснования оптимального перехода к новым технологиям на вербальном уровне может быть сформулирована следующим образом [6].

Новая технология возникает как результат научно-технического прогресса, поэтому ее эффективность  $W^H$  априори точно неизвестна, а может быть оценена лишь приближенно. Причем по сравнению с эффективностью традиционной технологии  $W^T$  отклонения  $\Delta W$  могут быть как положительными, так и отрицательными, то есть:

$$\Delta W = W^H - W^T > 0, \quad (4)$$

или

$$\Delta W = W^H - W^T < 0.$$

Научно-исследовательские разработки новой технологии дают время от времени, информацию уточняющую первоначальную оценку. В этом случае оценка эффективности новой технологии может быть задана в форме вероятностного распределения возможных значений эффективности  $W^H$  новой технологии на некотором конечном интервале неопределенности, который с каждым актом уточнения сужается. При этом новый интервал остается внутри прежнего, а его длина в пределе, если процесс уточнения эффективности новой технологии о ходе ее разработки будет продолжаться длительное время, стремиться к нулю. В этом случае суть задачи оптимизации процесса перехода к новым технологиям будет состоять в уточнении информации об эффективности новой технологии.

Для решения сформулированной задачи может быть использован метод последовательного анализа А.Вальда [7]. К настоящему времени этот метод получил более общую формулировку – теория статистических решений, в рамках которой используется современный арсенал методов оптимизации, изложенных, например, в работах [6; 8].

В классифицированном виде методы оптимизации перехода к новым технологиям представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Классификация методов оптимизации перехода к новым технологиям

Анализ существующих методов оптимизации показал следующие результаты.

1. По учету фактора неопределенности, которая может быть как внешней, так и внутренней, существующие методы оптимизации можно подразделить на две принципиально различные группы: статистические и динамические.

Первая, статистическая группа методов, исходит из предположения, что неопределенность есть нечто данное (неизменное) и описывается интервалами, в которых находятся истинные значения параметров новой технологии (внутренняя неопределенность). Основная проблема при этом сводится к обработке не точечных, а интервальных данных. К методам этой группы относятся: интервальный анализ, теория нечетких множеств, а также оптимизационные методы, основанные на статистическом представлении неопределенности с критериями того или иного вида (например, минимаксный критерий, критерий Гурвица, Лапласа и др.).

Вторая, динамическая группа методов, основана на многошаговом процессе, учитывающем на каждом шаге поступающую с течением времени информацию о ходе разработки новой технологии. При этом динамические методы (в частности, метод динамического программирования), учитывая внешние факторы неопределенности, все же не позволяют учитывать неопределенность внутренних параметров, на что способны статистические методы. Таким образом, возникает разрыв, при котором динамические методы учитывают только внешнюю неопределенность, а статистические методы – только внутреннюю неопределенность. Некоторой попыткой преодоления данного противоречия с использованием динамических методов явилось применение многоэтапного подхода. Согласно этому подходу информация о параметрах второго этапа разрабатываемой технологии (заданная вероятностным распределением) учитывается при выборе оптимального решения на первом этапе, информация о параметрах третьего этапа учитывается при выборе оптимального решения на втором этапе и так далее. При формализации такого подхода к уточнению внутренних параметров исходят из того, что поступление уточняющей информации представляет собой экзогенно заданный случайный процесс сужения интервала неопределенности. Таким образом, отмеченный выше разрыв ликвидируется, а метод динамического программирования становится применимым для учета внутренней неопределенности при разработке новой технологии.

Пример практической реализации данных методов на основе эволюционно-технологического подхода к созданию перспективного вооружения на этапах формирования НТЗ приведен в работе [2], а применительно к нетрадиционным видам вооружения – в работе [4].

2. С учетом фактора времени поступления информации о ходе разработки новой технологии решение сформулированной выше задачи может быть получено для трех случаев: для дискретного времени, непрерывного времени, отсутствия временного режима поступления информации.

В рамках упомянутого выше метода последовательного анализа А.Вальда, задача оптимального перехода к новым технологиям относится к задаче типа «оптимальной остановки марковской цепи» [6]. В общем, постановочном, плане данная задача для всех случаев поступления информации о ходе разработки новой технологии формулируется следующим образом.

В первом случае поступление информации о состоянии разработки новой технологии происходит регулярно через определенный интервал (дискретный промежуток) времени, который принимается за временную единицу. В этом случае задается марковская цепь случайных переходов на фазовом пространстве. Под фазовым пространством понимается пространство, в котором каждая точка (фазовая точка) соответствует состоянию разработки новой технологии, которое определяется набором ее параметров  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , так что  $W^H = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . При этом  $W^H$  может быть одним из важнейших физико-технических параметров, определяющих эффективность новой технологии. В каждый целочисленный момент времени, лицо, принимающее решение (ЛПР), может либо остановить процесс разработки новой технологии, либо его продолжить (множество управлений  $U$ ). В этом случае, с учетом затрат на НИОКР по разработке новой технологии, возникает задача оптимальной остановки процесса совершенствования существующей технологии и принятия окончательного решения – переходить на новую технологию или отказаться от нее, сохранив существующую технологию. Требуется найти оптимальную булевскую стратегию (то есть принимающую только два значения «остановить» или «продолжить»), максимизирующую ожидаемый военно-экономический эффект. При этом множество управлений  $U$  – булевское, и оба его значения допустимы.

Во втором случае (в моделях с непрерывным временем) наиболее подходящим способом формализации процесса разработки новой технологии является описание его как пуассоновского потока определенной интенсивности. Если принять допущение, что информация поступает в случайные моменты времени с интенсивностью (например, если для определенности за единицу времени принять 1 год, то  $\lambda = \frac{1}{\text{год}}$ ), тогда информационные акты и, соответственно, переходы марковской цепи образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности. Отличительным свойством пуассоновского (и только пуассоновского) потока является то, что вероятностное распределение времени ожидания очередного информационного акта не зависит от того, сколько времени это ожидание уже длится и, следовательно, сохраняется в течение всего периода ожидания. Тогда решение задачи оптимизации процесса перехода к новой технологии возможно на основе использования принципа оптимальности Беллмана. При этом решение может быть сведено (при бесконечно малом интервале времени) к ранее рассмотренному случаю с дискретным временем поступления информации.

Третий случай распространяется на ситуацию, когда решение исходной задачи не связано с временным режимом поступления информации о ходе разработки новой технологии, а касается только самого марковского процесса случайных переходов на фазовом пространстве. Для описания данного процесса принимаются следующие допущения. Оценка параметра  $W^H$  (который в общем случае может быть многомерным, векторным) задается в виде плотности распределения вероятностей возможных его значений, которая представляет точку в фазовом пространстве, а фазовые переходы представляют собой процесс уточнения этого распределения. Научные исследования по разработке новой технологии целенаправленно организованы, и они дают с течением времени новую случайную информацию, результатом чего становится фазовый переход из одного состояния в другое. Так возникает случайный процесс в фазовом пространстве. Поскольку проводимые исследования по разработке новой технологии имеют целенаправленный характер и потенциально могут быть

подкреплены достаточным финансированием, то можно ожидать, что этот случайный процесс будет ориентирован в сторону улучшения параметра  $W^H$ . В то же время проводятся исследования, которые, по сути, являются пионерскими и будут направлены на разработку технологий, основанных на принципиально новых физико-технических принципах и эффектах. В этом случае может оказаться, что, несмотря на все усилия, проводимые исследования не только не улучшат значение параметра  $W^H$ , но конечный результат может оказаться вообще отрицательным. Кроме того, может быть так, что исследования по разработке новой технологии приведут не к улучшению, а лишь к уточнению параметра  $W^H$ . Такой взгляд соответствует представлению о характере новой технологии, полагающему, что оцениваемый параметр есть внутренняя характеристика, присущая изучаемому физическому явлению как таковому. При этом повышенное финансирование исследований может привести лишь к ускорению процесса исследования новой технологии, но не может придать этому процессу какую-либо временную направленность. Именно такая ситуация характерна для третьего случая – отсутствия временного режима поступления информации о процессе разработки новой технологии.

Таким образом, выше в вербальном постановочном плане рассмотрены возможные методы оптимизации процесса перехода от существующих технологий к новым технологиям в условиях неопределенности для различных случаев поступления информации о ходе разработки новой технологии. При этом установлено, что «уточнение параметров новой технологии» тоже есть процесс, но уже процесс познания внутреннего содержания новой технологии, изначально понимаемой как «вещи в себе». Данное положение является дополнительным, но необходимым условием применения рассмотренных выше методов оптимизации.

### **Метод сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий**

Данный метод применяется в том случае, когда рассматривается совместное планирование создания и использование традиционных (существующих) и разрабатываемых новых технологий в перспективных образцах вооружения (см. рисунок 1). В этом случае алгоритм обоснования оптимального перехода к новым технологиям включает в себя следующие основные этапы [4].

*Этап 1.* Формирование исходных данных, в том числе множества функциональных задач  $I$  ( $i = 1, \dots, I$ ), для решения которых могут быть использованы традиционные и новые технологии.

*Этап 2.* Оценка эффективности  $W_i^T$  и затрат  $C_i^T$  на решение  $i$ -й задачи ( $\forall i = \overline{1, I}$ ) с использованием традиционных технологий.

*Этап 3.* Оценка эффективности  $W_i^{TH}$  и затрат  $C_i^{TH}$  на решение  $i$ -й задачи ( $\forall i = \overline{1, I}$ ) при совместном использовании традиционных и новых технологий.

*Этап 4.* Формирование области (множества) парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий. В данной области должно обеспечиваться:

а) приращение эффективности  $\Delta W_i$  ( $\Delta W_i = W_i^{TH} - W_i^T$ ) решения  $i$ -й задачи при совместном применении традиционных и новых технологий по сравнению с эффективностью  $W_i^T$  решения этой задачи с использованием только традиционных технологий;

б) снижение затрат  $\Delta C_i$  ( $\Delta C_i = C_i^T - C_i^{TH}$ ) на решение  $i$ -й задачи при совместном применении традиционных и новых технологий по сравнению с затратами  $C_i^T$  на ее решение только с использованием традиционных технологий.

Возникновение многовариантности на данном этапе обусловлено многими причинами, в том числе необходимостью анализа значительного числа возможных вариантов реализации отдельных функционально-технологических блоков (ФТБ) для достижения требуемого уровня основных характеристик перспективного образца вооружения с учетом возможности совместного использования новых и традиционных технологий. Для проведения подобного многовариантного анализа необходимо иметь следующую оперативную информацию:

на каком уровне готовности находятся технологии, положенные в основу создания перспективного образца;

какие задачи должны решаться перспективным образцом на плановом отрезке времени;

способен ли существующий образец вооружения решать аналогичные задачи;

каковы должны быть характеристики перспективного образца для решения поставленных задач с минимальными затратами на реализацию его жизненного цикла и каким образом их можно достичь: модернизацией существующего образца или разработкой образцов нового поколения.

Указанная информация позволяет рассмотреть различные варианты как разработки перспективного образца, так и модернизации существующего образца вооружения. Необходимость многовариантных оценок в данном случае обусловлена рядом обстоятельств и, прежде всего, практической потребностью проведения военно-экономических исследований при минимальном, как правило, объеме исходных данных. В этих условиях еще не обоснованы значения характеристик перспективного образца, но достоверно известно, что будет осуществляться его разработка с улучшенными характеристиками, в том числе за счет совместного использования новых и традиционных технологий. В результате этого планируется реализовать в перспективном образце либо всю возможную совокупность новых научно-технических решений (научно-технический задел), либо часть из них. Такое положение имеет место при разработке долгосрочных планов создания перспективного вооружения, а также в том случае, когда при разработке долгосрочных плановых документов не предъявляется жестких требований к значениям характеристик перспективного образца, а известны только диапазоны их возможных значений. Таким образом, основой создания перспективного вооружения является технологическое проектирование, в ходе которого обосновывается рациональная совокупность ФТБ, обеспечивающих требуемые уровни характеристик перспективного образца [3; 4].

На этапах технологического проектирования на основе конструктивного анализа перспективного образца формируется множество альтернатив технических решений, которые дают основание для постановки задачи синтеза конструктивно-технологической схемы перспективного образца. Данная задача заключается во внедрении, сбалансировании и синергетическом объединении (компоновке) различных по назначению ФТБ (в том числе подсистем, узлов, элементов) в единую конструктивно-технологическую схему – единую конструкцию перспективного образца. Суть этой задачи состоит в отыскании таких вариантов объединений (интеграции) элементов при условии их существования в заданных ограничениях (например, по массе, габаритным размерам, энергопотреблению и др.), при которых обеспечивается некоторый заданный уровень критерия. Процедура технологического проектирования содержит в качестве неизвестных параметров типы и число ФТБ, уровень их технологической проработки, синергетические связи между ними для достижения требуемых значений характеристик перспективного образца. В сложившейся практике технологического проектирования необходимые ФТБ выбираются двумя способами: либо из множества существующих, то есть уже достаточно хорошо апробированных и используемых в конструктивно-технологических схемах других видов вооружения; либо возникает необходимость полномасштабной разработки новых технологий. Как правило, множество апробированных технологий является достаточно представительным и мощным, в отличие от множества новых технологий, непосредственно определяющих в конечном итоге функциональные возможности и конструктивный облик перспективного образца. Обычно эти технологии являются объектом формирующейся научно-технологической базы (НТБ).

Таким образом, необходимость формирования области (множества) парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий возникает уже на этапах технологического проектирования перспективного образца вооружения.

Сужение области парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов совместного применения традиционных и новых технологий возможно с использованием системы дополнительных критериев, в том числе требуемой эффективности ( $W_{i \text{ треб}}$ ) решения  $i$ -й задачи, заданных (выделенных) затратах ( $C_{i \text{ зад}}$ ) на решение этой задачи, реализуемости вариантов и т.д.

Этап 5. Выбор рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий, обеспечивающих  $\Delta W_i(\Delta C_i) \rightarrow \max$  качестве примера на рисунке 4 показано графическое отображение области рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий для гипотетической априори известной зависимости роста эффективности традиционных и новых технологий от затрат, выделяемых на их создание.

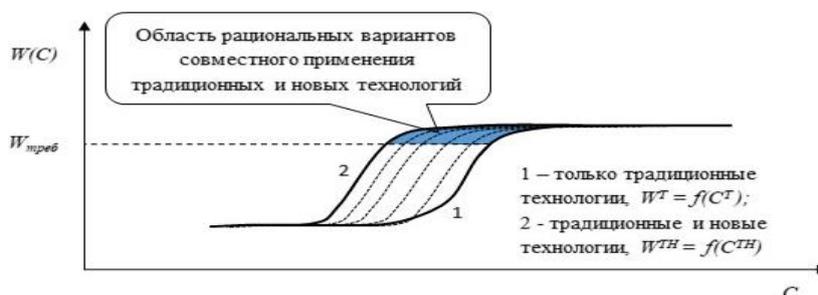


Рисунок 4 – Графическое отображение области рациональных вариантов совместного применения традиционных и новых технологий

Таким образом, обоснование оптимального перехода к новым технологиям на основе сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей.

В качестве примера, иллюстрирующего представленный выше метод, приведем общую постановку задачи определения оптимального времени перехода от существующей технологии к новой технологии в течение программного периода. Для наиболее полного и корректного учета полных затрат, а также обеспечения сопоставимости оценок затрат для различных вариантов перехода к новой технологии в течение программного периода должны быть приняты следующие условия и допущения:

оценка проводится для конкретного типа перспективных образцов, их фиксированного состава и условий выполнения ими некоторой задачи по своему функциональному назначению (функциональной задачи);

оценка проводится из условия соблюдения тождества эффективности, то есть достижения одинаковой фиксированной (или требуемой) эффективности выполнения функциональной задачи за счет применения в составе перспективных образцов как существующей технологии, так и новой технологии;

затраты на создание и применение перспективных образцов одинаковы для различных вариантов перехода от существующей технологии к новой технологии;

при определении полных затрат и предпочтительного варианта перехода рассматривается весь программный период времени  $[t_o, T_k]$  (где  $t_o$  – начало первого года,  $t_1$  – начало второго года, ...,  $T_k$  – последний год рассматриваемого программного периода, а  $t_p$  – момент перехода к новой технологии, находящийся в интервале  $t_o \leq t_p \leq T_k$ ). При этом полные затраты подразделяются на две группы:

затраты на применение перспективных образцов, основанных на существующих технологиях (период времени  $t = [t_o, t_{p-1}]$ );

затраты на внедрение новой технологии в некоторые перспективные образцы и их совместное применение с остальными образцами из первой группы (период времени  $t = [t_p, T_k]$ ).

Учитывая, что значения полных затрат будут неодинаковы для разных моментов времени  $t_p$  в программном периоде, что связано с различной продолжительностью применения перспективных образцов на основе существующих технологий, то задача определения оптимального времени  $t_p^*$  формулируется следующим образом. Требуется определить такой оптимальный момент времени  $t_p^*$ , при котором значение полных затрат  $C(t)$  будет

минимальным при условии обеспечения требуемого уровня эффективности ( $W_{\text{треб}}$ ) выполнения функциональной задачи и неперевышения затрат на переход к новой технологии ( $C_i^{\text{ТНпер}}$ ) некоторого допустимого ограничения ( $C_{\text{зад}}$ ):

$$C_i(t_p^*) = \underset{t_p \in T}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{T} \{C^T(t = [t_0, t_{p-1}]) + C_i^{\text{ТН}}(t = [t_p, T_k])\} \rightarrow \min$$

при  $W \geq W_{\text{треб}}$  и  $C_i^{\text{ТНпер}} \leq C_{\text{зад}}$ .

В выражении (5) целевая функция представляет собой усредненные за весь программный период полные предстоящие затраты. Под  $i$ -м вариантом перехода к новой технологии ( $i = 1, \dots, N$ ), где  $N$  – множество возможных вариантов) понимается вариант использования перспективных образцов, основанных как на существующей технологии, так и новой технологии.

Оптимальное значение  $t_p^*$  для каждого варианта перехода определяется с использованием следующего подхода (правила). Сначала в качестве момента перехода к новой технологии рассматривается первый год программного периода, т.е.  $t_p = t_0$ . В этом случае полные предстоящие затраты на выполнение функциональной задачи перспективными образцами за весь программный период рассчитываются при условии применения новой технологии. Аналогичным образом рассчитываются затраты на выполнение функциональной задачи при условии, что переход к новой технологии проводится в каждый последующий год до момента времени  $T_k$  включительно. При этом учитывается, что возможности научно-исследовательской, испытательной и производственных баз позволяют к этому моменту времени создать необходимые образцы, а затраты на переход к новой технологии не превышают финансовые ограничения.

На основе использования данного подхода представляется возможным построить функцию затрат, отражающую изменение во времени усредненных за программный период полных предстоящих затрат на выполнение функциональной задачи с требуемым уровнем эффективности в зависимости от момента перехода к новой технологии. При этом каждому фиксированному значению  $t_p$  будет соответствовать одна точка функции затрат. Год программного периода, соответствующий минимальному значению функции затрат, и будет являться оптимальным моментом времени  $t_p^*$  для перехода к новой технологии. Следует отметить, что вполне возможен вариант, для которого функция затрат будет принимать минимальное значение лишь в следующем программном периоде. Тогда и следует планировать переход к новой технологии.

Учитывая содержание приведенного выше метода сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий и конкретного примера его использования, представляется возможным алгоритмизировать этот метод для множества функциональных задач, а также нескольких видов существующих и новых технологий, совместно используемых в составе перспективных образцов.

В дальнейшем для повышения оперативности обоснования оптимального перехода к новой технологии, на основе изложенных выше методов оценки эффективности новых технологий, представляется целесообразным использовать инструментальные возможности искусственного интеллекта.

### **Алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании перспективного вооружения**

Необходимость разработки и использования данного алгоритма обусловлена наличием ряда факторов, в том числе:

возрастанием угроз безопасности Российской Федерации в военно-технической сфере и необходимостью формирования мер по их парированию с использованием перспективного вооружения;

появлением новых задач Вооруженных Сил (ВС) РФ, которые не могут быть решены с достаточной эффективностью только традиционными видами вооружения;

требованиями руководящих документов по выполнению задач ВС РФ с требуемой эффективностью, но с минимальными затратами.

Кроме того, немаловажное значение имеют факторы, связанные с особенностями работ по созданию перспективного (в том числе нетрадиционного) вооружения, в частности [2; 4]: неопределенность исходных данных (в том числе по бюджетным ассигнованиям) при формировании и реализации программ и планов создания и развития перспективного вооружения; неопределенности относительно научно-технических, финансово-экономических и производственно-технологических возможностей промышленных предприятий по созданию перспективных образцов вооружения, так и временных сроков разработки новых технологий; практическое отсутствие прототипов;

уникальность разработки важнейших технологий;

высокая наукоемкость и технологическая сложность перспективного вооружения;

высокая степень неопределенности потребного количественно-качественного состава перспективного вооружения и организационно-штатных формирований, в которых предполагается его использование;

отсутствие серийного производства для большинства образцов перспективного вооружения.

Отмеченные выше факторы и особенности перспективного вооружения определяют специфику задания научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по его созданию. Существующее методическое обеспечение не позволяет в полной мере и комплексно учитывать эти факторы при обосновании оптимального перехода от существующих технологий к разрабатываемым новым технологиям.

С учетом вышеизложенного разработан алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании перспективного вооружения. Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 5.

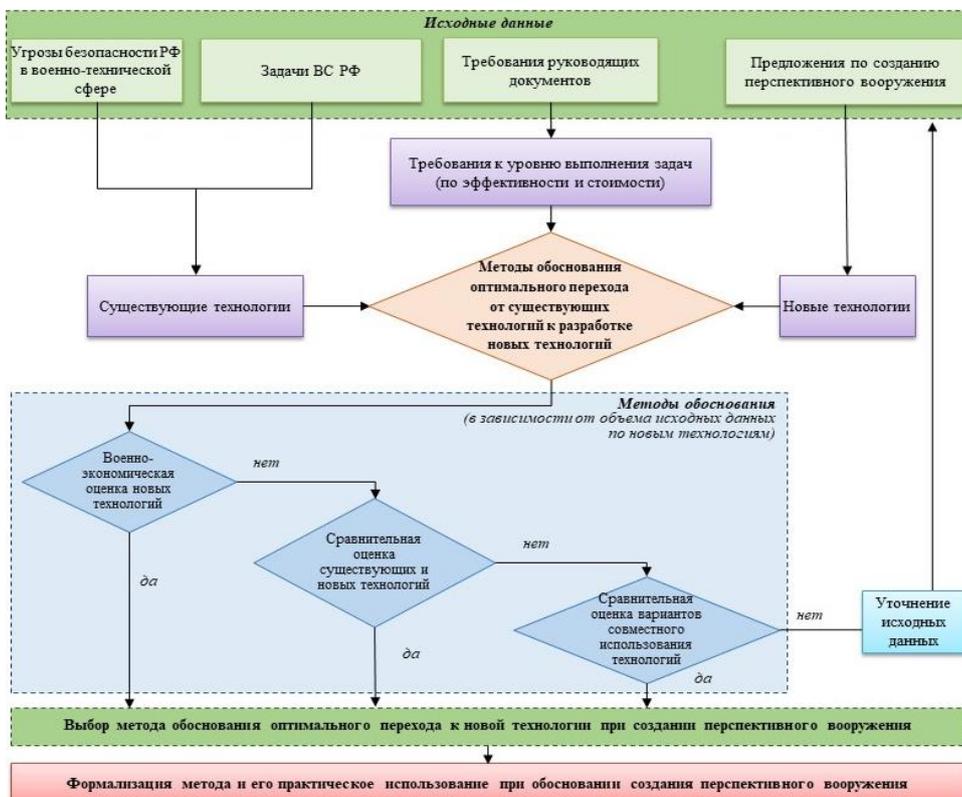


Рисунок 5 – Алгоритм выбора метода обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании перспективного вооружения

В зависимости от имеющегося в наличии объема исходных данных по созданию перспективного вооружения, основанного на новых технологиях, применяется тот или иной метод решения задачи.

Главной отличительной особенностью данного алгоритма является возможность комплексного использования методов для оптимизации процесса перехода от существующих технологий к разработке новых технологий. При этом метод военно-экономической оценки используется во всех случаях, в том числе: при оценке как существующих, так и новых (в том числе принципиально новых) технологий; при сравнительной оценке существующих и новых технологий; при сравнительной оценке вариантов совместного использования существующих и новых технологий.

### Заключение

На основе анализа общей модели развития технологий, учитывающей этапы создания научно-технического задела для перспективного вооружения, представлены результаты обобщения методов обоснования оптимального перехода к новой технологии, основанные на оценке эффективности новой технологии, в том числе:

классические методы военно-экономической оценки, основанные на использовании триады критериев: эффективность новой технологии; затраты ресурсов на разработку новой технологии; время разработки новой технологии;

методы оценки существующей и новой технологии с учетом факторов неопределенности и времени поступления информации о ходе разработки новой технологии;

методы сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и новых технологий. Показано, что обоснование оптимального перехода к новым технологиям с использованием этих методов является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей.

Предложен алгоритм выбора методов и направления их практического использования.

Результаты анализа показали, что современный арсенал методов оптимизации позволяет обоснованно выбрать соответствующий метод и его формализовать для решения конкретной задачи, в том числе:

системного проектирования перспективного вооружения на основе совместного использования существующих и новых технологий;

оценки оптимальной глубины модернизации и унификации создаваемого перспективного вооружения с учетом взаимосвязи его модернизационного и унификационного потенциалов; повышения устойчивости экономической динамики создания перспективного вооружения в государственных программах и проектах в интересах обеспечения обороны страны и безопасности Российской Федерации, а также управления и прогнозирования экономической динамики с учетом возможных рисков.

### Список использованных источников

1. Чанышев А.Н. Аристотель. М.: Мысль, 1981. – 200 с.
2. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: КУПОЛ, 2009. – 624 с.
3. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Особенности перехода к новым технологиям при создании научно-технического задела для проектирования высокотехнологичной продукции // Двойные технологии. 2022. №1(98). – С. 28-34.
4. Буренок В.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Военно-экономические и инновационные аспекты интеграции нетрадиционных видов оружия в состав системы вооружения. М.: Граница, 2014. – 240 с.
5. Голубев С.С., Щербаков А.Г. Методология управления промышленными технологиями. М.: Первое экономическое издательство, 2020. – 276 с.
6. Беленький В.З. Оптимизационные модели экономической динамики: понятийный аппарат; одномерные модели. М.: Наука, 2007. – 259 с.
7. Вальд А. Последовательный анализ. М.: Физматгиз, 1960. – 328 с.
8. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столяров Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978. – 352 с.