

Научная статья
УДК 355/359

Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения

Александр Васильевич Леонов, Сергей Гарриевич Брайткрайц,
Алексей Юрьевич Пронин

Аннотация. В статье предложен комбинированный метод технологического прогнозирования на этапах создания перспективного вооружения, включая формирование научно-технического задела, который позволяет использовать преимущества нелинейного цикла Гартнера и достоинства эволюционно-технологического подхода к развитию военных технологий. На основе определения критических точек цикла Гартнера сформулированы постановки задач технологического прогнозирования и выбраны математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий. Разработаны предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Ключевые слова: технологическое прогнозирование; перспективное вооружение; научно-технический задел; технологии; комбинированный метод

Для цитирования: Леонов А.В., Брайткрайц С.Г., Пронин А.Ю. Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 55-67.

Original article

Technological Forecasting at the Stages of Advanced Weapons Development

Aleksandr V. Leonov, Sergei G. Braitkraits, Aleksei Iu. Pronin

Abstract. The article proposes a combined method of technological forecasting at the stages of advanced weapons development, including the scientific and technical backlog formation, which allows to have advantages of the nonlinear Gartner cycle and merits of the evolutionary-technological approach to the military technologies development. Based on the definition of critical points of the Gartner cycle, the tasks of technological forecasting are formulated and mathematical methods for the optimal direction substantiation of military technologies development are selected. Proposals for a combined method application in program-target planning and management of the military technologies development are worked out.

Keywords: technological forecasting; advanced weapons; scientific and technical backlog; technologies; combined method

For citation: Leonov A.V., Braitkraits S.G., Pronin A.Iu. Technological Forecasting at the Stages of Advanced Weapons Development. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 55-67. (In Russ.).

Прогнозирование развития военных технологий на этапах создания перспективного вооружения¹ (далее – технологическое прогнозирование) позволяет избежать неоправданных финансовых затрат на ранних стадиях разработки новых технологий, повысить эффективность планирования и управления развитием военных технологий и др.

Актуальность данной статьи состоит в следующем. Существующие подходы к прогнозированию базируются, в основном, на линейно-поступательном характере развития технологий. Для прогнозирования используются методы коллективных экспертных оценок, а также методы аналогий, экстраполяции и др. [1]. Однако практика программно-целевого планирования и управления развитием военных и промышленных технологий [2; 3] убедительно свидетельствует о нелинейном характере развития военных технологий. Действительно, в развитии военных технологий, и особенно принципиально новых технологий, наряду с положительными результатами имеют место неизбежные флуктуации² и бифуркации³, связанные со спадом активности исследований (по разным причинам), неудачами и

¹ В том числе при формировании научно-технического задела (НТЗ) для создания перспективного вооружения. Основными составными частями НТЗ являются научный, научно-технологический и производственно-технологический заделы.

² Отклонения от линейно-поступательной траектории развития военных технологий.

³ Разветвление траектории развития военных технологий.

даже провалами в разработке новых технологий. Подобные факторы чаще всего проявляются на этапах формирования НТЗ для перспективного и нетрадиционного вооружения [4] и, в целом, их интеграции в состав системы вооружения [5] и влияния на характер вооруженной борьбы [6].

В настоящее время для исследования нелинейности развития технологий используются два подхода: эволюционно-технологический подход и подход, основанный на циклическом изменении спроса на разрабатываемую технологию, получивший название «цикл Гартнера» [7]. Эти подходы имеют свои преимущества и достоинства⁴, о которых будет сказано далее. В работах [7; 8] показано, что характер изменения кривой Гартнера можно интерпретировать как некую обобщенную характеристику разрабатываемой технологии. Поэтому представляется целесообразным их комбинировать с тем, чтобы использовать преимущества нелинейного цикла Гартнера и применить апробированный на практике эволюционно-технологический подход.

В этой связи для разработки комбинированного метода технологического прогнозирования в статье рассмотрены следующие вопросы:

- прогностические возможности эволюционно-технологического подхода;
- технологическое прогнозирование с использованием цикла Гартнера;
- предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Прогностические возможности эволюционно-технологического подхода

В настоящее время в развитии технологий как военного, так и гражданского назначения широкое распространение получил эволюционно-технологический подход (ЭТП).

Под ЭТП понимается методология создания перспективного вооружения, основанная на постепенном многошаговом процессе повышения уровня знаний в определенных научно-технических областях и предназначенная для обеспечения достоверности прогнозируемого облика Вооруженных Сил РФ, предсказуемости и стабильности программ создания перспективного вооружения, а также снижения риска их реализации [2-6].

Основные идеи и принципы ЭТП состоят в следующем:

- разрабатывать перспективное вооружение по принципу приращений в виде небольших «шагов», каждый из которых представляет собой четко определенный результат, основанный на внедрении совокупности зрелых технологий. Начальные шаги этого процесса связаны с проведением фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований (ФППИ), направленных на создание перспективного вооружения;
- предусматривать потенциальную возможность в случае неудачи «возврата» к предыдущему успешному шагу с тем, чтобы устранить возникшие просчеты и ошибки перед тем, как задействовать все ресурсы, выделенные на создание перспективного вооружения;
- дорабатывать перспективное вооружение в ходе каждой итерации на основе внедрения новых научных знаний и технологий с расширением функциональных возможностей перспективного вооружения.

Основные направления реализации идей и принципов ЭТП:

- максимальное и своевременное использование научно-технического задела, начиная с ФППИ в области обороны и обеспечения безопасности Российской Федерации;
- определение приоритетов научных исследований и технологических разработок;
- обоснование потребных объемов ассигнований на научные исследования и технологические разработки по выделенным приоритетным направлениям.

Последние два аспекта имеют чрезвычайную важность для развития технологий, поскольку именно на этапе приоритизации формируются стратегические направления

⁴ Брайткрайц С.Г., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Методологические подходы к прогнозированию развития перспективных технологий для создания технических средств различного назначения и базирования // Стратегическая стабильность. 2025. №2(111). С. 27-35.

развития базовых и критических технологий, выполняются предварительные оценки реализуемости, потребных ассигнований и возможных рисков. Практическое решение этих задач осуществляется обычно с использованием метода анализа иерархий Т.Саати [9].

Важным преимуществом ЭТП является учет готовности научно-технического задела, максимальное и своевременное его использование для создания перспективного вооружения. В настоящее время наиболее распространенным инструментом для оценки уровня готовности (зрелости) технологий за рубежом (например, США⁵, Великобритания) и в нашей стране служит специальная вербально-числовая шкала TRL (Technology Readiness Level).

В рамках вербально-числовой шкалы TRL каждая технология последовательно проходит несколько уровней технологической готовности. В этом случае речь идет о последовательных приращении определенных результатов ФППИ, направленных на создание перспективного вооружения.

Одним из основных преимуществ ЭТП является возможность возврата (в случае отсутствия положительных результатов НИОКР) к предыдущему шагу (этапу) развития военной технологии. Следует отметить, что в отечественных работах по развитию технологий военного и гражданского назначения этот вопрос до настоящего времени в полной мере не рассматривался.

Несмотря на популярность вербально-числовой шкалы TRL, на наш взгляд ее применение в интересах технологического прогнозирования встречает определенные затруднения, например:

- в шкале TRL развитие технологий рассматривается как линейно-поступательный процесс без возможных, и даже неизбежных флуктуаций и бифуркаций в технологическом процессе, что особенно характерно для разработки перспективного вооружения;
- возможность «возврата» к предыдущему уровню (в случае неудачи) с тем, чтобы устранить возникшие просчеты и ошибки, не предусмотрена;
- все уровни технологической готовности рассматриваются статично, без учета возможных направлений развития технологического процесса.

Таким образом, эволюционно-технологический подход, основанный на применении метода оценки готовности технологий по вербально-числовой шкале TRL, отражает линейно-поступательное развитие военных технологий.

В этой связи авторами предпринята попытка показать возможности технологического прогнозирования с использованием цикла развития технологий Гартнера.

Технологическое прогнозирование с использованием цикла Гартнера

С целью практического применения цикла Гартнера к развитию военных технологий необходимо провести некоторые преобразования с тем, чтобы «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, то есть придать линейно-поступательный характер развитию технологий. Только в этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционных методов прогнозирования.

Для достижения данной цели необходимо решить три первоочередные задачи:

- определить критические точки прогнозирования на цикле Гартнера;
- сформулировать постановки задач технологического прогнозирования;
- предложить математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий.

Решение данных задач представлено ниже.

⁵ DoD Instruction 5000.02. Operation of the Adaptive Acquisition Framework. Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2020. URL: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500002p.PDF>

Определение критических точек прогнозирования на цикле Гартнера

На основе анализа цикла развития технологий Гартнера [7] выделено пять его основных этапов:

- инновационный триггер (разработка новой технологии);
- пик завышенных ожиданий (принимать технологию еще рано);
- пропасть разочарования (негативное восприятие, технологию принимает около 5% целевой аудитории);
- склон просвещения (формирование методологии создания и использования технологии);
- «плато» использования (технология – одна из сфер жизнедеятельности человека).

Данные этапы, в принципе, присутствуют при разработке практически любых новых технологий, например, искусственного интеллекта. Представляется, что этапы цикла развития технологий Гартнера вполне могут быть спроецированы на этапы развития военных технологий.

Результаты такого проецирования приведены на рисунке 1.

В соответствии с циклом Гартнера военная технология в своем развитии обязательно проходит пять этапов (фаз) (рисунок 1):

I этап – разработка (запуск, старт) новой технологии;

II этап – достижение пика прорывных технических и технологических решений;

III этап – замедление темпов совершенствования технологии, падение интереса или разочарование в дальнейшем развитии технологии, может быть, появление новой технологии (возможно, даже в другой области);

IV этап – развитие технологии на новом уровне: конечно, оно не будет таким же быстрым, как на стадии запуска технологии, однако результаты этого этапа позволяют выйти на устойчивое «плато» развития;

V этап – достижение устойчивого «плато» существования технологии: вторая «жизнь» технологии.

Таким образом, совместное комбинированное рассмотрение цикла Гартнера и обобщенной характеристики (например, эффективности) разрабатываемой военной технологии позволяет учесть нелинейность в развитии военных технологий, что является весьма важным при решении задач:

- обоснования и выбора приоритетных технологических направлений, а также соответствующих программных мероприятий (например, НИОКР), обеспечивающих развитие этих приоритетных технологических направлений;
- достоверного прогнозирования тактико-технических характеристик перспективного вооружения, а также появления новых технических и технологических решений.

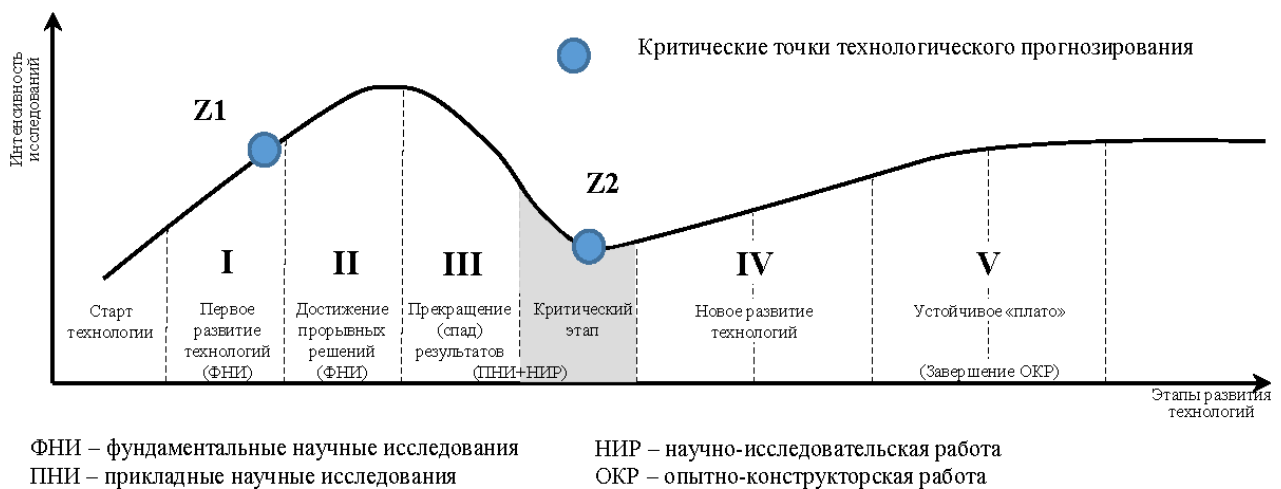


Рисунок 1 – Проецирование цикла развития технологий Гартнера на этапы развития военных технологий

Применение цикла Гартнера может дать дополнительные возможности для прогнозирования развития военных технологий, поскольку в его основе очевидно просматриваются представления о развитии технологий как об эволюционно-технологическом процессе. Действительно, здесь присутствуют и этапы быстрого роста, и этапы стабильности, и спада (спад здесь можно трактовать как возвращение к предыдущим решениям, но реализуемым уже на более высоком технологическом уровне).

Кроме того, цикл Гартнера становится весьма удобным инструментом управления развитием военных технологий на этапах проведения НИОКР. К настоящему времени при управлении выполнением НИОКР все очевиднее виден переход от традиционной каскадной модели с жесткой структурированной последовательностью: эскизный проект, технический проект, разработка РҚД, изготовление опытного образца, испытания образца – к новой эволюционно-технологической модели, в которой могут параллельно выполняться разными исполнителями этапы проектирования, допускается существенное изменение требований технического задания. При этом требования выступают в роли объекта управления в течение всего жизненного цикла перспективного вооружения [10].

Все названные выше преимущества комбинированного цикла Гартнера являются отражением (или следствием) эволюционно-технологического подхода, идеи и принципы которого представлены в данной статье.

С военно-экономической точки зрения важно подчеркнуть такой важнейший аспект идеи ЭТП как возможность рационального использования научно-технического задела, начиная с ФППИ. В этой связи представляется целесообразным определить критические точки прогнозирования (КТП) в цикле Гартнера и сформулировать с их использованием военно-экономические постановки задач технологического прогнозирования.

Критические точки прогнозирования показаны на рисунке 1.

Точка Z_1 (точка упреждения) предназначена для прогнозирования возможного момента бифуркации (разветвления) траектории развития военных технологий при прохождении критического этапа.

Точка Z_2 (точка бифуркации) предназначена для прогнозирования момента принятия решения: либо о продолжении разработки технологии, либо о прекращении исследований в рассматриваемом технологическом направлении, либо возврата к предыдущему этапу, но с учетом технологического опыта и научно-технического задела, сформированных к данному (критическому) этапу развития технологии.

В соответствии с установленными точками предлагаются две постановки задачи технологического прогнозирования.

Постановки задач технологического прогнозирования

Ниже в вербальном виде изложены две взаимосвязанные постановки задачи технологического прогнозирования на основе КТП:

- априорная (задача прогнозирования положения точки бифуркации на кривой Гартнера);
- апостериорная (задача обоснования оптимального направления развития технологий в точке бифуркации на кривой Гартнера).

Априорная задача. На начальных этапах разработки технологии (точка Z_1) определить такую точку Z_2 , в которой спад (спад обобщенной характеристики) в разработке технологии будет минимальным, то есть обеспечивается (достигается) продолжение разработки технологии при прохождении критического этапа в развитии технологии с минимальными затратами ресурсов на разработку технологии при достигнутом показателе эффективности технологии.

Апостериорная задача. Находясь на критическом этапе разработки технологии (точка Z_2) определить оптимальное направление развития технологии (продолжение разработки технологии, прекращение исследований в рассматриваемом технологическом направлении, возврат к предыдущему этапу и т.д.), обеспечивающее максимальное значение показателя эффективности разрабатываемой технологии при заданных затратах на ее разработку.

С математической точки зрения априорная и апостериорная постановки задачи технологического прогнозирования могут быть идентифицированы как прямая и обратная

задача оптимизации, формулировки которых основаны на классическом методе военно-экономического анализа⁶. Данный метод предполагает совместное использование триады критериев: эффективность (W), затраты (C) и время (T).

Применительно к задачам технологического прогнозирования приведенные обозначения критериев означают следующее:

W – эффективность новой технологии (на ранних этапах разработки новой технологии в качестве эффективности может выступать один из важнейших физико-технических параметров, определяющих ее эффективность);

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.

Если принятие решения на основе решения априорной задачи технологического прогнозирования является прерогативой по большей части заказчика разрабатываемой технологии, то для решения апостериорной задачи вполне могут быть применимы математические методы.

Ниже рассмотрены математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий.

Математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий

Предлагаемые ниже методы основаны на учете факторов неопределенности на критическом этапе разработки новых технологий (см. рисунок 1) и прежде всего параметров, определяющих их эффективность, и времени поступления информации о ходе разработки новых технологий. В этом случае суть задачи выбора оптимального направления развития технологий будет состоять в уточнении информации об эффективности новой технологии и времени поступления информации о ходе ее разработки.

С учетом упомянутых выше факторов неопределенности задача обоснования оптимального направления развития военных технологий на вербальном уровне может быть сформулирована следующим образом.

Новая технология возникает как результат проведения ФППИ, поэтому ее эффективность W^H априори точно неизвестна, а может быть оценена лишь приближенно. Причем по сравнению с эффективностью традиционной технологии W^T отклонения ΔW могут быть как положительными, так и отрицательными, то есть:

$$\Delta W = W^H - W^T > 0 \quad \text{или} \quad \Delta W = W^H - W^T < 0. \quad (1)$$

Научно-исследовательские проработки 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 шагом 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) стремится 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 существующий арсенал методов оптимизации, анализ которых применительно к развитию военных технологий проведен в работе [11].

В классифицированном виде данные методы с учетом названных выше факторов неопределенности представлены на рисунке 2.

⁶ Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: Учебник. М.: ВУ, 2015. 340 с.

1. По используемым методам оценки эффективности разрабатываемой технологии существующие методы можно подразделить на две принципиально различные группы: статистические и динамические.

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;
- оптимизационные методы, основанные на статистическом представлении неопределенности с критериями того или иного вида (например, минимаксный критерий, критерий Гурвица, Лапласа и др.).

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 является 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 [5].



Рисунок 2 – Методы выбора оптимального направления развития военных технологий с учетом факторов неопределенности

2. По времени поступления информации о ходе разработки новой технологии решение сформулированной выше апостериорной задачи технологического прогнозирования может быть получено для трех случаев: дискретного времени; непрерывного времени; отсутствия временного режима поступления информации. Данная задача относится к типу задач «оптимальной остановки марковской цепи». Рассмотрим эту задачу в общем, постановочном плане, на примере перехода на другую технологию на критическом этапе разработки новой технологии (см. рисунок 1).

Для дискретного времени. 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, как отмечалось выше, 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 технологии и принятия окончательного решения – переходить на другую технологию или отказаться от нее, сохранив разрабатываемую 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.

Для непрерывного времени. 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 λ (например, если для определенности за единицу времени принять 1 год, то $\lambda = 1/\text{год}$), тогда информационные акты и, соответственно, переходы марковской цепи образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности. Отличительными свойствами 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.

Отсутствие временного режима поступления информации. Данный 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 . 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 временной регламентации поступления информации о процессе разработки новой технологии.

Таким образом, с помощью управляющих воздействий (на основе решения априорной задачи технологического прогнозирования) и предлагаемых методов обоснования оптимального направления развития военных технологий с учетом факторов неопределенности представляется возможным «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, придав ей линейно-поступательный характер.

Возможные варианты «сглаживания» кривой Гартнера с использованием вербально-числовой шкалы TRL показаны на рисунке 3.

В этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционных методов прогнозирования (в том числе экстраполяции). Наиболее распространенным инструментом для оценки уровня готовности (зрелости) технологий в эволюционно-технологическом подходе является специальная вербально-числовая шкала TRL, характеризующая последовательные приращения определенных результатов ФППИ, направленных на создание перспективного вооружения.

Возможность «сглаживания» кривой Гартнера реализуется принятием решений (точка Z_2 на рисунках 3,а,б) о продолжении, либо о прекращении исследований в рассматриваемом технологическом направлении, либо о переходе к разработке новых технологий. В этом случае в ходе выполнения исследований в рамках этапа III, характеризующегося спадом результативности НИОКР, вполне логично предусмотреть возможность возврата к предыдущему этапу, но с учетом TRL, обогащенного соответствующим этому уровню научно-техническим заделом. В этом случае возможны три варианта развития технологий: *вариант А* – прекращение исследований по данному технологическому направлению с сохранением результатов проведенных НИР в соответствующей информационной базе; *вариант Б* – продолжение НИОКР и выход на создание опытного образца с прогнозируемыми ТТХ; *вариант В* – возврат к этапу прикладных исследований с учетом НТЗ, сформированного уже в выполненных прикладных НИР и НТЗ смежных технологических направлений.

Анализ данных вариантов показал, что *вариант А* является предпочтительным с точки зрения минимизации временных и финансовых затрат на формирование научно-технологического задела. Однако в этом случае может быть достаточно высокий риск отставания в рассматриваемом технологическом направлении, поскольку исследования остановлены.

Вариант Б является традиционным, если можно использовать термин «традиционность» применительно к новым, прорывным технологиям. Однако при реализации данного варианта также будут присутствовать технологические риски.

Лучшим выбором является *вариант В*. Возврат на второй этап цикла Гартнера, но на более высоком технологическом уровне (см. рисунок 3,а) обеспечивает, как было показано выше:

- достижение плато устойчивых результатов на более высоком технологическом уровне;
- не влечет дополнительных затрат, потребных на повторное прохождение уровней TRL;
- достижение более высокого уровня TRL (либо ТТХ) по окончании ОКР по созданию перспективного вооружения.

Таким образом, на определенном этапе цикла Гартнера, связанного со спадом результативности НИОКР, целесообразно вернуться к уже достигнутому уровню TRL, но с учетом нового объема научно-технического задела.

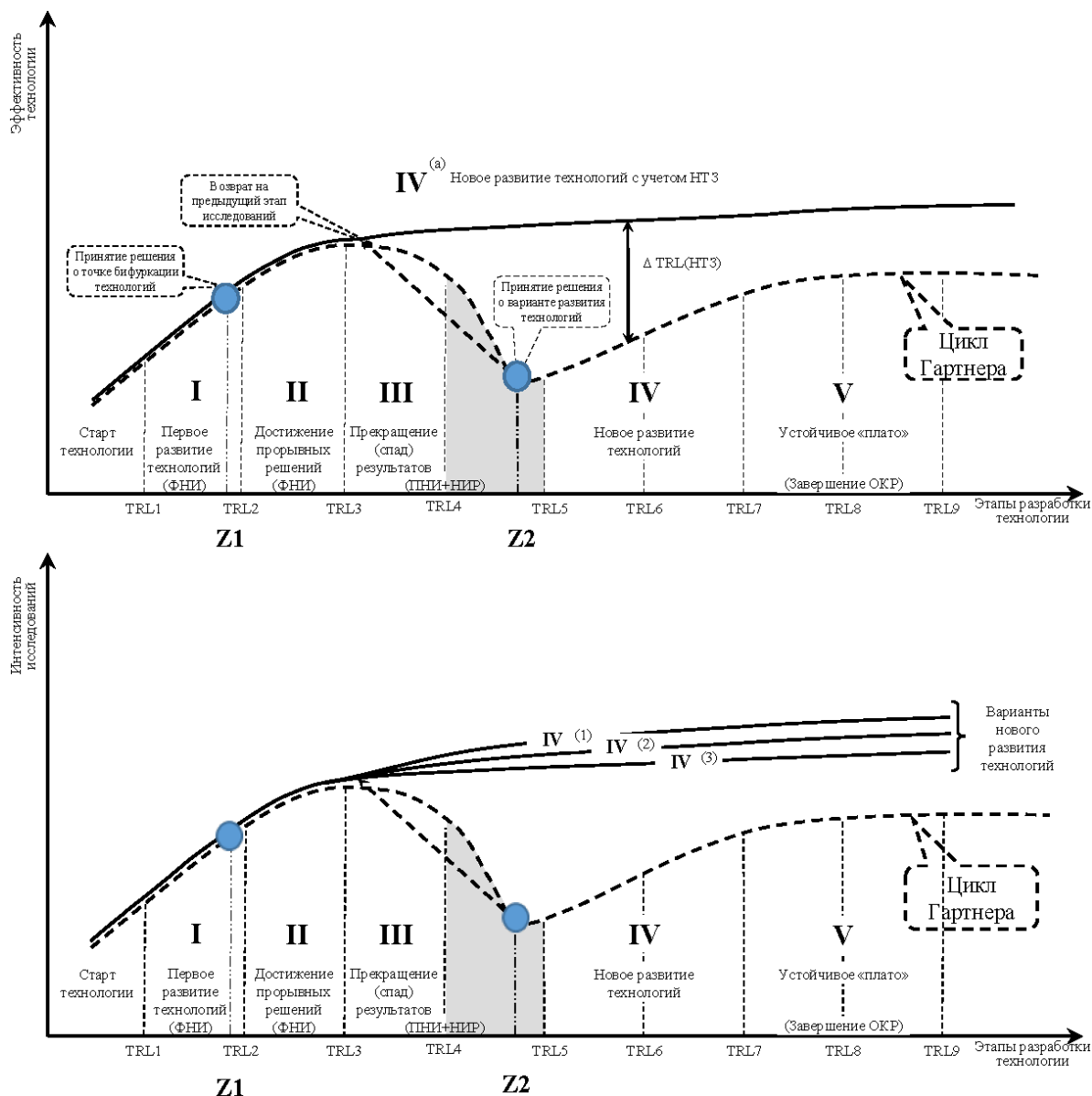


Рисунок 3 – «Сглаживание» цикла Гартнера с учетом этапов формирования НТЗ для создания перспективного вооружения (а – иллюстрация цикла Гартнера с возвратом на TRL2 с учетом TRL4; б – иллюстрация цикла Гартнера с вариабельностью возврата на подуровни TRL2)

Необходимо отметить, что *вариант В*, для которого предусматривается возвращение к прикладным исследованиям с использованием НТЗ, полученного как в данном направлении, так и в смежных областях и направлениях, может осуществляться несколькими путями (рисунок 3,б). Каждый из этих путей, в конечном счете, ведет к различным вариантам развития технологии с различным военно-экономическим эффектом.

Отметим, что проблема разветвления научно-технического задела и его реализация в различных продолжениях развития одной конкретной технологии еще только ждет своего научного решения. В некоторых работах, например [10], решение данной проблемы рассматривается применительно к нескольким технологиям, где в зависимости от складывающихся условий происходят переходы с одной технологии на другую.

Далее показано практическое применение изложенных выше положений в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий

Для практической реализации комбинированного метода в части развития базовых и критических военных технологий необходимо решить две первоочередные задачи.

Первая задача связана с формализацией эволюционно-технологического подхода с сохранением действительно эволюционного характера этого процесса. Дело в том, что в современных исследованиях развитие технологий рассматривается только в виде линейно-поступательного процесса. Для прогноза таких процессов разработан и широко используется целый ряд традиционных методов прогнозирования, упомянутых в начале данной статьи. В рамках вербально-числовой шкалы TRL речь идет о последовательных приращениях определенных результатов фундаментальных, прогнозных, поисковых и прикладных исследований, направленных на создание перспективного вооружения.

Вторая задача связана с формализацией цикла развития технологий Гартнера, в котором, как было показано выше, используются только качественные определения: фаза запуска технологии, фаза прорывных технических и технологических решений, фаза утраты интереса к этой технологии, фаза нового развития, фаза достижения устойчивого плато существования технологии и т.д. Для управления любым физическим процессом требуется его параметризация. Параметризацию здесь можно провести, например, с помощью шкалы TRL. В этом случае можно использовать цикл Гартнера совместно со шкалой стадий исследований: фундаментальные, прогнозные, поисковые и прикладные исследования, опытно-конструкторские работы. Такой анализ может быть полезен специалистам, занятым в области планирования управления разработкой перспективного вооружения.

Очевидный интерес представляет комбинированное рассмотрение общей тенденции развития технологии (например, с использованием традиционных методов технологического прогнозирования) и цикла Гартнера для этой же технологии. В отличие от цикла Гартнера кривая общей тенденции носит постоянный неубывающий характер. Проблема состоит в том, что цикл Гартнера и кривая общей тенденции привязаны к разным временным осям. В этом случае можно разделить эти два подхода к технологическому прогнозированию следующим образом: общая тенденция предоставляет технологический прогноз, а цикл Гартнера – план развития новой технологии. Тогда при анализе цикла Гартнера в сочетании с каким-либо из методов технологического прогнозирования кривая общей тенденции может постоянно корректировать цикл Гартнера для соответствующей технологии и тем самым определять время постановки и проведения НИОКР и рациональные комбинации различных технологий. Представляется, что возможности такого комбинированного подхода значительно выше, чем их отдельное рассмотрение. В целом, комбинированный прогноз необходим для создания согласованной общей картины развития технологий.

Заключение

Рассмотрение существующих подходов к прогнозированию развития военных технологий позволило сформулировать следующие выводы.

1. До настоящего времени все существующие подходы к технологическому прогнозированию основаны на линейно-поступательном характере развития военных технологий с использованием традиционных методов (коллективных экспертных оценок, аналогий, экстраполяции и др.). Практика убедительно показывает, что в разработке каждой принципиально новой технологии имеют место этапы спада активности исследований, этапы неудач и даже провалов в исследованиях. Развитие военных технологий на этапах создания перспективного вооружения, особенно формирования его научно-технического задела, имеет принципиально нелинейный характер.

2. Предложен комбинированный метод технологического прогнозирования, сочетающий преимущества нелинейного цикла развития технологий Гартнера и достоинства

эволюционно-технологического подхода с количественной оценкой уровня готовности (зрелости) военных технологий.

3. Для практического применения цикла Гартнера к развитию военных технологий определены критические точки прогнозирования на цикле Гартнера и сформулированы в вербальном виде задачи технологического прогнозирования, решение которых позволит преодолеть критический этап в развитии технологий с минимальными затратами ресурсов при сохранении достигнутого уровня эффективности разрабатываемой технологии. Предложены математические методы выбора оптимального направления развития военных технологий после прохождения критического этапа.

4. С использованием разработанных предложений представляется возможным преобразовать и «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, придав ей линейно-поступательный характер. В этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционные методы прогнозирования, в том числе экстраполяции.

5. Для управления процессом «сглаживания» кривой Гартнера необходимо иметь соответствующий механизм, в основе которого должны быть следующие инструменты (знания):

- возможный нелинейный тренд развития военных технологий по Гартнеру;
- критические точки на кривой Гартнера, знание которых позволят проводить априорное и апостериорное технологическое прогнозирование;
- математические методы «сглаживания» кривой Гартнера;
- требования к развитию военных технологий (по эффективности, затратам, срокам);
- возможности самих разработчиков новых технологий.

Разработка формализованной схемы механизма управления «сглаживанием» кривой Гартнера с использованием данных инструментом (знаний) является предметом отдельной публикации.

6. Проведенные исследования позволили сформулировать следующий методологический вывод. Параметры кривой цикла Гартнера, безусловно, окажут влияние на изменение ключевых параметров разрабатываемой технологии, поскольку они включают ассигнования, выделяемые на разработку технологии, интенсивность НИОКР и т.д. При этом очевидно и наличие обратной связи – влияние изменений параметров (эффективности) технологии на параметры цикла Гартнера. Исследование (изучение) такой сложной замкнутой системы механизма прогнозирования и управления разработкой новой технологии является предметом дальнейших исследований.

Список источников

1. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. 592 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. Голубев С.С., Щербakov А.Г. Методология управления промышленными технологиями. М.: Первое экономическое издательство, 2020. 276 с.
4. 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. 408 с.
5. 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.
6. Буренок В.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Старожук Е.А., Юрин А.Д. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 176 с.
7. Кацко И.А., Жминько Н.С., Кацко С.А. Хайп-цикл Гартнера и развитие современных технологий // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXVII Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 13-14 октября 2024): в 2 ч. Ч.2. СПб.: 2024. С.69-74.

8. Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С. Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 5-12.

9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 236 с.

10. Безденежных С.И., Брайткрайц С.Г. Адаптивное управление требованиями в системе управления жизненным циклом продукции военного назначения // Вооружение и экономика. 2021. №3(57). С. 66-77.

11. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Методы обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании перспективного вооружения // Вооружение и экономика». 2023. №4(66). С. 56-68.

Информация об авторах

А.В. Леонов – доктор экономических наук, профессор.

С.Г. Брайткрайц – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 4779-5045.

А.Ю. Пронин – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 6833-7914.