Научная статья
УДК 355/359

Технологический анализ и синтез перспективного комплекса вооружения

**Александр Васильевич Леонов, Алексей Юрьевич Пронин,
Виктор Владимирович Титоренко**

Аннотация. В статье раскрыто технологическое содержание анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения и приведены практические примеры: технологического анализа – на основе установления взаимосвязи требований заказчика и потребностей в проведении фундаментальных научных исследований, направленных на создание научно-технического задела; технологического синтеза – на основе выбора рациональных вариантов состава технологий и функционально-технологических блоков, обеспечивающих требуемые характеристики перспективного комплекса вооружения; совместного использования технологического анализа и синтеза при формировании технологического облика перспективного комплекса вооружения.

Ключевые слова: анализ; синтез; технологии; научно-технический задел; программно-целевое планирование; перспективный комплекс вооружения; технологический облик; затраты

Для цитирования: Леонов А.В., Пронин А.Ю., Титоренко В.В. Технологический анализ и синтез перспективного комплекса вооружения // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 70-84.

Original article

Technological Analysis and Synthesis of an Advanced Weapon Complex

Aleksandr V. Leonov, Aleksei Iu. Pronin, Viktor V. Titorenko

Abstract. The article defines the analysis and synthesis technological content of an advanced weapons complex and provides practical examples: technological analysis – based on determination of the relationship between customer requirements and the need for fundamental scientific research aimed at a scientific and technical backlog creation; technological synthesis – based on the rational options selection for the technologies composition, and functional and technological blocks that provide the required characteristics of an advanced weapon complex; shared use of technological analysis and synthesis in the formation of the technological design of an advanced weapon complex.

Keywords: analysis; synthesis; technologies; scientific and technical backlog; program-target planning; advanced weapon complex; technological design; costs

For citation: Leonov A.V., Pronin A.Iu., Titorenko V.V. Technological Analysis and Synthesis of an Advanced Weapon Complex. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025;72(2): 70-84. (In Russ.).

Создание перспективного комплекса вооружения (ПКВ) достаточно сложный процесс, который чаще всего начинается с формирования научно-технического задела (НТЗ). В этой связи крайне важным представляется обеспечить не только эффективное управление на всех этапах формирования НТЗ, но и рациональное использование финансовых средств. Такая постановка задачи создания ПКВ соответствует современной стратегии ускоренного развития НТЗ в интересах технического и технологического перевооружения экономики страны, в том числе ее оборонного сектора, с учетом проведения Специальной военной операции.

Именно поэтому в последние годы все большую актуальность приобретают научно-методические разработки и модели, с использованием которых представляется возможным решить две основные задачи:

- установить взаимосвязь требований, предъявляемых заказчиком к ПКВ, и потребностей в проведении фундаментальных, поисковых, прикладных исследований и технологических разработок, направленных на создание НТЗ с учетом финансовых ограничений (технологический анализ);
- на основе анализа результатов фундаментальных научных исследований (ФНИ) выбрать рациональные варианты состава технологий и функционально-технологических блоков, обеспечивающих требуемые тактико-технические характеристики (ТТХ) ПКВ (технологический синтез).

© Леонов А.В., Пронин А.Ю., Титоренко В.В., 2025

Следовательно, формирование НТЗ включает в себя два разнонаправленных процесса: технологический анализ и технологический синтез, позволяющих обосновать технологический облик ПКВ как совокупности различных по назначению функционально-технологических блоков, объединенных в единую конструктивно-технологическую схему для достижения требуемых ТТХ перспективного комплекса вооружения[45].

Решение задач, сформулированных выше, в настоящее время осуществляется на основе методологии технологического проектирования (как важнейшей составной части системного проектирования), основные положения которой изложены в работах [1-3]. При этом особую методологическую трудность технологического проектирования представляет существующее до сих пор нечеткое представление о технологическом содержании анализа и синтеза, их предмета и методов. В немалой степени сложившееся положение обусловлено неполнотой научного (в том числе, философского) знания о разграничении и взаимосвязи анализа и синтеза [4]. С учетом данного обстоятельства в статье установлено технологическое содержание анализа и синтеза ПКВ и приведены их практические примеры.

Технологическое содержание анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения

Для решения поставленной задачи воспользуемся классической теорией[46], согласно которой анализ – это реальное или мысленное разложение целого на части, а синтез – реальное или мысленное объединение этих частей в целое. В философской энциклопедии есть близкое определение: анализ – это расчленение исследуемого объекта «на части (признаки, свойства, отношения)», а синтез – «соединение различных элементов, сторон объекта в единое целое (систему)»[47]. Приведенные определения являются общепринятыми. Основная трудность их использования в технологическом проектировании ПКВ заключается в отождествлении анализа и синтеза. Возникает вопрос, а какую сторону объекта мы исследуем на этапе синтеза? Ответ на этот вопрос, с точки зрения классической теории, ожидаем и вполне очевиден. На долю синтеза после анализа – ничего не остается, поскольку анализ дает нам знание обо всех без исключения частях и отношениях между ними и о свойствах объекта в целом. Получается, что приведенные выше определения анализа и синтеза идентичны! Исключение синтеза из числа методов исследования по той причине, что его задача уже включена в анализ, имеет место и в конкретных науках. Например, в математике есть раздел «Математический анализ», который включает дифференциальное и интегральное исчисление, но нет раздела «Математический синтез». Без синтеза существуют экономический, психологический и другие виды анализа.

В какой-то степени указанную проблему разрешает одна из современных трактовок, в которой синтез – это одновременно и анализ, а анализ – это одновременно и синтез. Такое понимание и решение проблемы анализа и синтеза называют диалектическим. Формула «анализ посредством синтеза и наоборот» нашла применение в методологии военно-научных исследований. Приведем один наиболее характерный пример.

В программно-целевом планировании развития системы вооружения анализ содержания предыдущей программы в начале нового программного периода осуществляется после ее формирования и утверждения в предыдущем программном периоде (т.е. после синтеза). В данном случае проблема анализа и синтеза обобщена до проблемы познания отношений (военно-технических, технологических, экономических) между программными элементами. В предыдущей и вновь формирующейся программе эти отношения существенно

[45] Существуют и другие близкие определения, например: технологический облик – это рациональный состав существующих и новых технологий (функционально-технологических блоков), обеспечивающих достижение требуемых ТТХ перспективного комплекса вооружения.

[46] Эту теорию называют еще «этимологической», поскольку лежащие в ее основе определения анализа и синтеза представляют собой просто переводы соответствующих древнегреческих терминов (и, соответственно, латинских resolutio и compositio) на русский язык.

[47] *См*.: Новая философская энциклопедия. В 4 т. Т.3. М.: Мысль, 2010. С. 546.

разные. Эффективность такого обобщения доказана многолетней практикой обоснования и формирования программных документов. В отличие от классического понимания, в данном случае анализ и синтез четко следуют друг за другом в каждом программном периоде. При этом анализ – это всегда анализ продуктов синтеза. Здесь невозможно сказать, что является первичным, а что вторичным. При этом синтез новой программы осуществляется на множестве ее потенциально возможных вариантов. Именно поэтому идеи Аристотеля о «потенциально возможном», о движении «от возможности – к действительности»[48] приобрели при обосновании и формировании программных документов статус доминирующих положений и играют важную конструктивную роль [5]. В области «потенциально возможного» весьма значимым становится вариантный подход, который в условиях ресурсных ограничений позволяет системе вооружения адаптироваться (например, на основе механизма самоорганизации) к неопределенностям долговременного характера, новым факторам и условиям ее развития.

Приведенный пример показывает, что анализ – это декомпозиция целого на части, разрушающая отношения между ними, а синтез – восстановление этих отношений, но уже на новом уровне их обобщения. Предмет анализа – это части целого, а предмет синтеза – те отношения (с учетом появления новых частей), которые образуют структуру целого, целостность.

Таким образом, разрешение проблемы анализа и синтеза достигается путем введения всего лишь одного ограничительного условия: из числа результатов анализа необходимо исключить знание об отношениях между частями целого, это знание – результат синтеза. Такой подход к проблеме достаточно прост и очевиден. Он позволяет не только вернуть синтезу его предмет, но и восстановить симметрию между анализом и синтезом, и, что весьма важно для технологического проектирования ПКВ, данный подход вполне соответствует современной трактовке причин возникновения синергетических эффектов в результате установления новых отношений между частями формируемого целого, раскрытых в работах [3; 6]. Следовательно, анализ и синтез различаются не только предметом, но и методами исследования.

На основе изложенных выше положений сформировано технологическое содержание анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения (рисунок 1).

В данном случае технологический анализ осуществляется на основе требований, предъявляемых вышестоящим уровнем к нижестоящему уровню декомпозиции ПКВ (множество требований – контур $\{S\}$). Основой технологического синтеза является выбор рациональных вариантов из множества возможных вариантов, сформированных на каждом уровне декомпозиции ПКВ, начиная с самого нижнего (множество возможных вариантов – контур $\{V\}$).

Кроме этого, в данной статье рассмотрено совместное использование принципов и методов технологического анализа и синтеза. В этом случае формирование НТЗ для создания ПКВ осуществляется одновременно за счет интеграции двух разнонаправленных движущих сил: с одной стороны – заданных заказчиком требований к ПКВ, а с другой стороны – формированием множества возможных вариантов и выборе из них рациональных вариантов на каждом уровне декомпозиции ПКВ, начиная с самого нижнего. Таким образом, обеспечивается не только учет взаимосвязи и взаимообусловленности отдельных уровней декомпозиции ПКВ, но и отношений между его составными частями (элементами) на каждом уровне. В данном случае при наличии единых исходных данных представляется возможным получить достоверные результаты, несмотря на то, что при технологическом анализе и синтезе ПКВ используются различные модели и методы.

Далее приведены практические примеры технологического анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения и их совместного использования.

[48] Согласно Аристотелю «в возможности одно и то же может быть вместе противоположными вещами, но в реальном осуществлении нет».

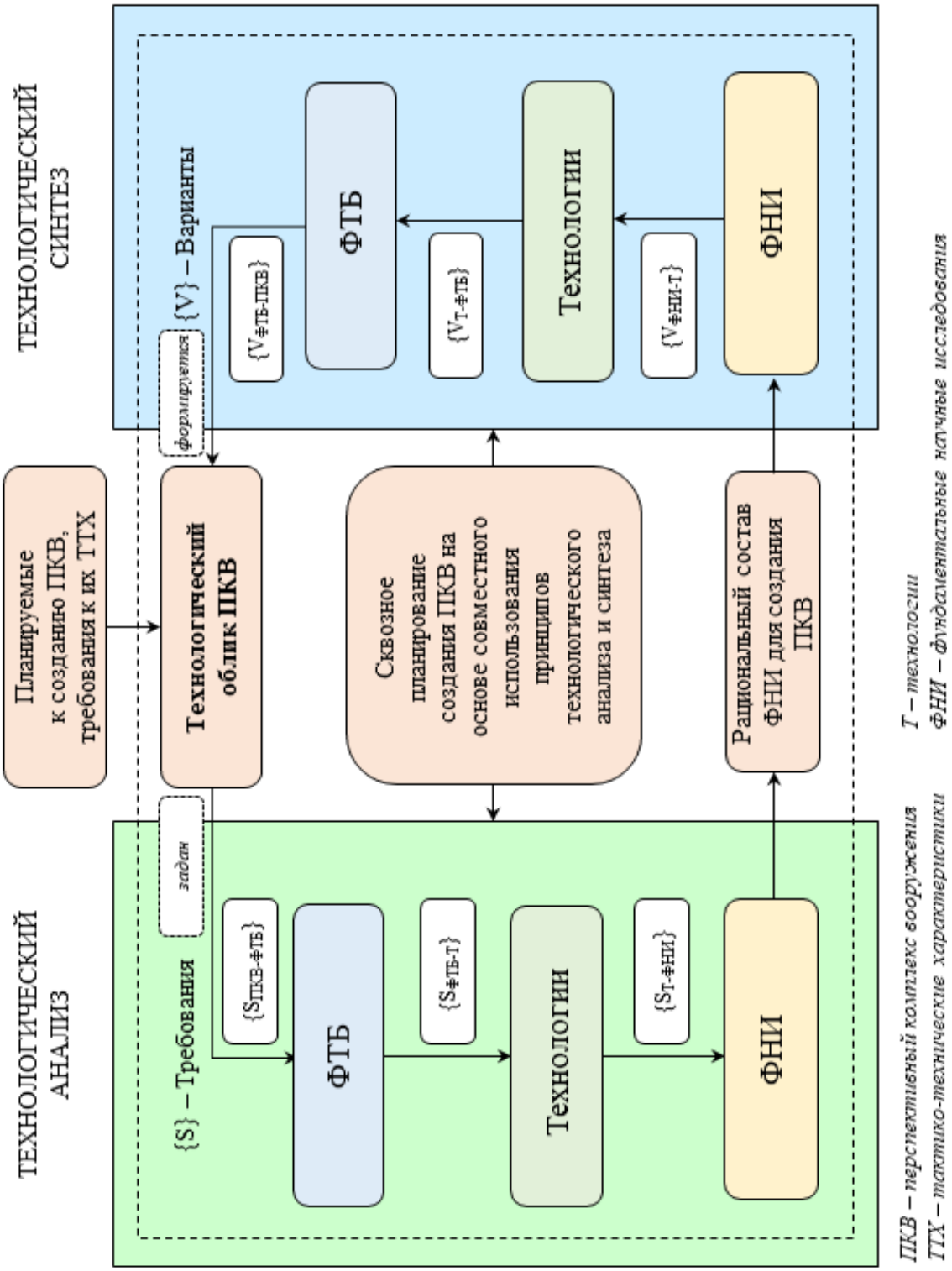

Рисунок 1 – Технологическое содержание анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения

Технологический анализ

Приведем последовательность технологического анализа на примере обоснования рационального состава ФНИ на основе установления взаимосвязи требований, предъявляемых заказчиком к ТТХ разрабатываемых ПКВ, и потребностей в проведении ФНИ, направленных на создание научно-технического задела. Таким образом, заданы требования к технологическому облику перспективных комплексов вооружения, их состав и приоритеты в развитии.

Сущность задачи формирования рационального состава ФНИ состоит в том, чтобы при невозможности финансирования всех ФНИ отобрать такие научные исследования, ожидаемые результаты которых обеспечили бы создание ПКВ с учетом требований заказчика и финансовых ограничений. При этом результаты отобранных ФНИ должны быть максимально востребованы в прикладных исследованиях при создании перспективных комплексов вооружения.

Общая формулировка задачи технологического анализа заключается в следующем. Известно множество планируемых к созданию ПКВ и требований к ним. Требуется сформировать рациональный состав (X^*) ФНИ, проведение которых необходимо для создания соответствующего НТЗ с учетом финансовых ограничений на фундаментальные научные исследования в этой области:

$$W(X^*) \to argmax \sum_{x_l \subseteq X_{\text{полн}}} w(x_l), \sum_l C(x_l) \leq C_{\text{зад}}, \quad (1)$$

где: $w(x_l)$ – оценочное значение влияния ожидаемых результатов x_l-го ФНИ на создание ПКВ; $X_{\text{полн}}$ – полная совокупность ФНИ; $C(x_l)$ – затраты на проведение x_l-го ФНИ; $C_{\text{зад}}$ – заданный объем финансирования мероприятий по созданию НТЗ.

С методической точки зрения технологический анализ осуществляется следующим образом. Вначале осуществляется декомпозиция планируемых к созданию ПКВ на основные функционально-технологические блоки, совершенствование которых может оказать наибольшее влияние на достижение требований заказчика. Затем экспертно определяется состав важнейших технологий, которые позволяют усовершенствовать каждый ФТБ. При этом осуществляется оценка достаточности существующих технологий, в противном случае определяется «приращение» технологий, необходимое для достижения заданных требований. По результатам анализа состава важнейших технологий, экспертно определяется необходимый состав ФНИ, результаты которых позволяют сформировать соответствующий НТЗ для проведения прикладных исследований. Далее в интересах повышения обоснованности состава ФНИ проводится ранжирование научных исследований в соответствии с их научно-техническим влиянием на создание ПКВ.

Учитывая необходимость экспертных оценок, наиболее распространенным и результативным методом решения задачи технологического анализа (1), особенно в условиях недостаточного объема исходных данных, является метод анализа иерархий Т.Саати [7]. С использованием данного метода осуществляется построение многоуровневого множества информационно-логических матриц, позволяющих преодолеть методические трудности, связанные с непосредственной оценкой влияния результатов ФНИ на создание ПКВ.

Основное содержание модели технологического анализа ПКВ с использованием информационно-логических матриц представлено на рисунке 2.

Содержание основных этапов модели технологического анализа, приведенной на рисунке 2.

Этап 1. Формирование сквозной информационно-логической схемы: ПКВ – ФТБ – технологии – ФНИ.

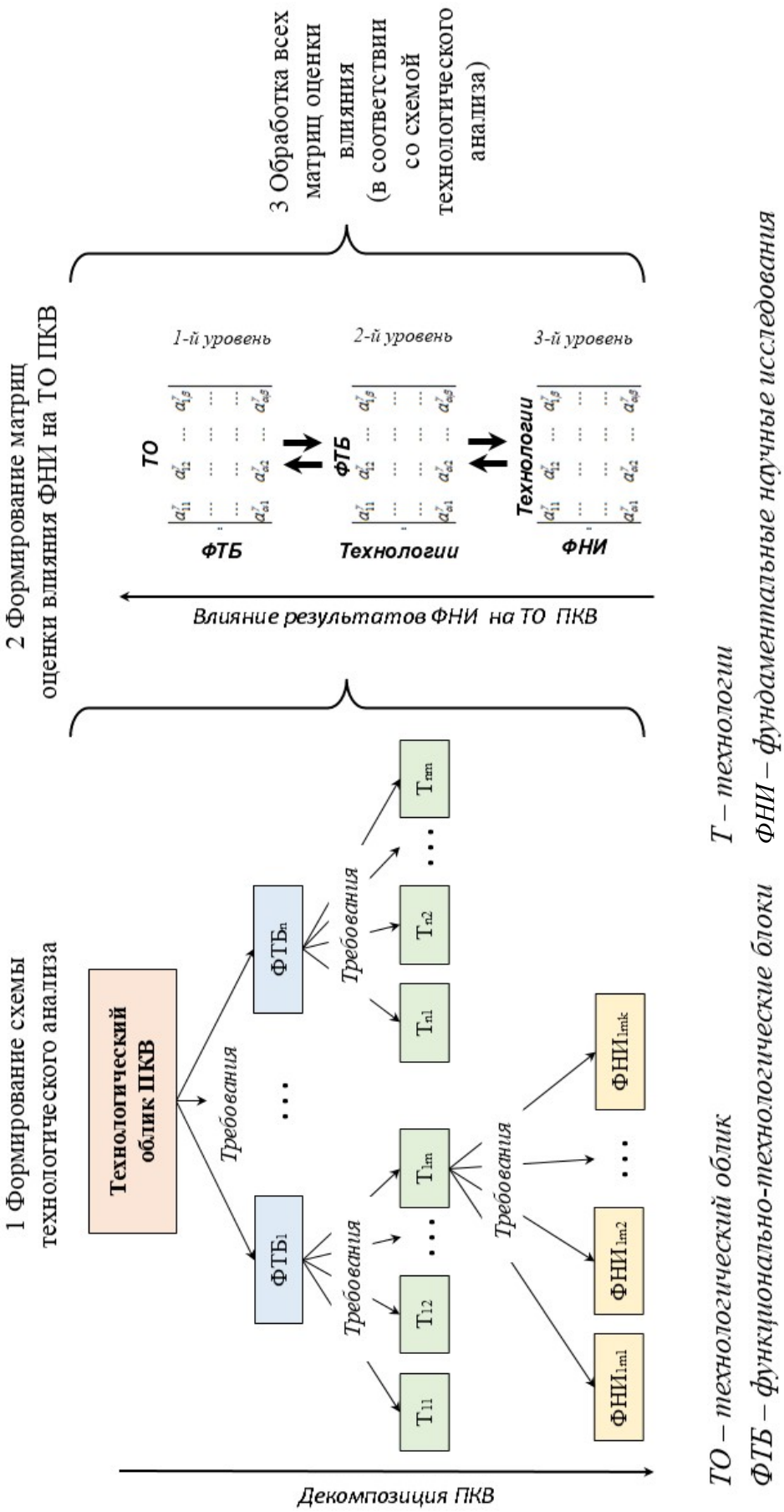

Рисунок 2 – Модель технологического анализа перспективного комплекса вооружения

Этап 2. Формирование матрицы оценок влияния каждого нижестоящего уровня на вышестоящий уровень декомпозиции ПКВ, например:
в матрице «ПКВ – ФТБ» оценивается влияние параметров ФТБ на ТТХ ПКВ (1-й уровень);
в матрице «ФТБ – технологии» оценивается влияние результатов прикладных исследований на параметры ФТБ (2-й уровень);
в матрице «технологии – ФНИ» оценивается возможность реализации результатов ФНИ в прикладных исследованиях и технологических разработках (3 уровень).

Общее формализованное представление матрицы влияния имеет следующий вид:

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

где: γ – номер уровня информационно-логической матрицы; a_{ij}^{γ} – экспертная оценка влияния элементов γ-го уровня декомпозиции (строки матрицы) на элементы вышестоящего уровня декомпозиции (столбцы матрицы); α – количество элементов γ-го уровня декомпозиции; β – количество элементов вышестоящего уровня декомпозиции.

Этап 3. Последовательная обработка всех матриц влияния (в соответствии с информационно-логической схемой – «сверху-вниз»). С этой целью осуществляются следующие операции:

- рассчитывается сумма элементов строк (для каждой матрицы);
- путем нормирования определяются составляющие вектора влияния факторов на объекты на уровне γ;
- последовательно на всех уровнях осуществляется операция взвешивания, на основе которой формируются приведенные оценки $w(x_l)$ влияния ожидаемых результатов x_l-го ФНИ на создание ПКВ.

В результате выполнения данных операций находится рациональный состав ФНИ с учетом имеющихся финансовых ограничений, удовлетворяющий целевой функции (1).

Таким образом, технологический анализ на основе оценки влияния результатов ФНИ на создание ПКВ представлен как многоэтапный и многоуровневый процесс последовательного экспертного анализа (моделирования).

Более подробно содержание технологического анализа приведено в работе [3].

Технологический синтез

В данном случае требуется сформировать технологический облик ПКВ, начиная от ФНИ.

Рассмотрим общую постановку задачи технологического синтеза.

Требуется определить такой вариант $\{v^0\}^{\gamma}$ на γ-м уровне декомпозиции ПКВ, который обеспечивает выполнение заданных заказчиком требований к тактико-техническим характеристикам (эффективности – W^{γ}) ПКВ при минимальных затратах C^{γ} на реализацию этого варианта.

Математическую формулировку задачи технологического синтеза ПКВ можно представить в следующем виде:

$$\{v^0\}^{\gamma} = \underset{v_i \in V^{\gamma}}{\operatorname{argmin}}\ C^{\gamma}(\{v_i\}^{\gamma}, W^{\gamma}), \quad W^{\gamma} \geq W_{\text{треб}}, \quad (3)$$

где: V^{γ} – множество возможных вариантов на γ-м уровне декомпозиции ПКВ. Каждому варианту соответствуют определенные отношения (военно-технические, технологические, экономические) между элементами, входящими в данный вариант; $W_{\text{треб}}$ – требуемая эффективность ПКВ.

Технологический синтез ПКВ, согласно выражению (3), является задачей структурного синтеза оптимальной совокупности технологических решений на каждом уровне декомпозиции ПКВ при ограничениях на ресурсы и возможный состав частей (элементов) на каждом уровне, которые по мере развития научно-технического задела могут изменяться качественно, количественно и структурно. Выбор рациональных вариантов на каждом уровне декомпозиции ПКВ может быть представлен в виде процесса субоптимизации согласно выражению (3). Таким образом, более полно и корректно учитываются межуровневые иерархические технологические связи, возникающие между разнотипными технологиями (ФТБ), с учетом степени их технологической отработки.

Основное содержание модели технологического синтеза ПКВ с использованием матриц вариантов представлено на рисунке 3.

В отличие от матриц влияния, принятых в технологическом анализе (см. рисунок 2), в данном случае используются матрицы вариантов V^{γ}, которые представляют собой множество возможных вариантов, из которых выбирается рациональный состав элементов на γ-м уровне декомпозиции ПКВ.

Таким образом, технологический синтез ПКВ представлен как задача структурного синтеза оптимальной совокупности технологических решений на каждом уровне декомпозиции ПКВ. При этом выбор рациональных вариантов на каждом уровне декомпозиции ПКВ представлен в виде процесса субоптимизации системы (3). Решение данной задачи может быть осуществлено с использованием экспертных оценок, а при наличии исходных данных об эффективности ПКВ – аналитически. Пример структурного технологического синтеза ПКВ, реализующий приведенные выше положения, показан на рисунке 4.

Рассмотрим задачу технологического синтеза на уровне ФТБ – ПКВ на основе использования методологии технологического проектирования [1-3].

В данном случае сущность задачи технологического синтеза заключается во внедрении, сбалансировании и синергетическом объединении (компоновке) различных по назначению ФТБ (подсистем, узлов, элементов) в единую конструктивно-технологическую схему перспективного комплекса вооружения. Неизвестными параметрами являются: типы и число ФТБ, уровень их технологической проработки, синергетические связи между ними для достижения требуемых значений тактико-технических характеристик.

В сложившейся практике проектирования необходимые ФТБ выбираются двумя способами: либо из множества существующих, то есть уже достаточно хорошо апробированных и используемых на практике; 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 технологический облик перспективного комплекса вооружения. Обычно эти технологии являются объектом формирующейся научно-технологической базы (НТБ).

Следует отметить, что каких – либо конкретных методов и процедур, формализующих переход от оптимального сочетания различных ФТБ и их параметров, обеспечивающих требуемые ТТХ перспективного комплекса вооружения, до настоящего времени не существует. С учетом приведенных положений постановка задачи технологического синтеза в вербальном виде формулируется следующим образом.

Известно множество типов ФТБ и число блоков каждого типа. Функционально-технологический блок каждого типа обладает присущими только ему определенными параметрами. При этом имеются параметры (например, массогабаритные, энергопотребление и др.), присущие каждому блоку. Результат взаимодействия ФТБ проявляется в виде свойств ПКВ, которые описываются некоторыми функциональными зависимостями. Предпочтительность того или иного варианта функционально-технологического построения ПКВ оценивается с использованием показателей, которые характеризуют эффективность его использования (применения по функциональному назначению) при решении той или иной задачи. На параметры ФТБ накладывается система ограничений (параметрические ограничения), то есть допустимые границы их изменения.

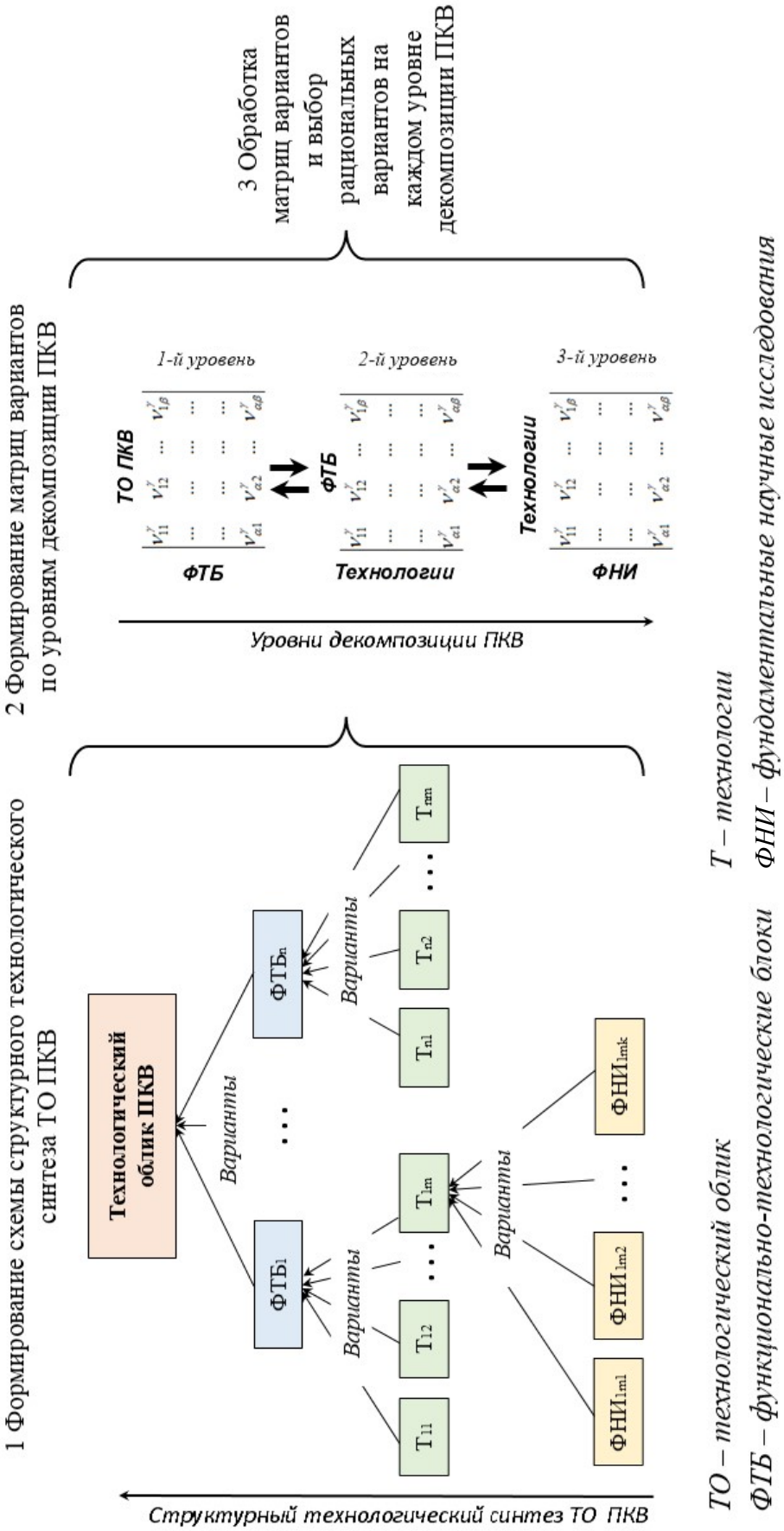

Рисунок 3 – Модель технологического синтеза ПКВ

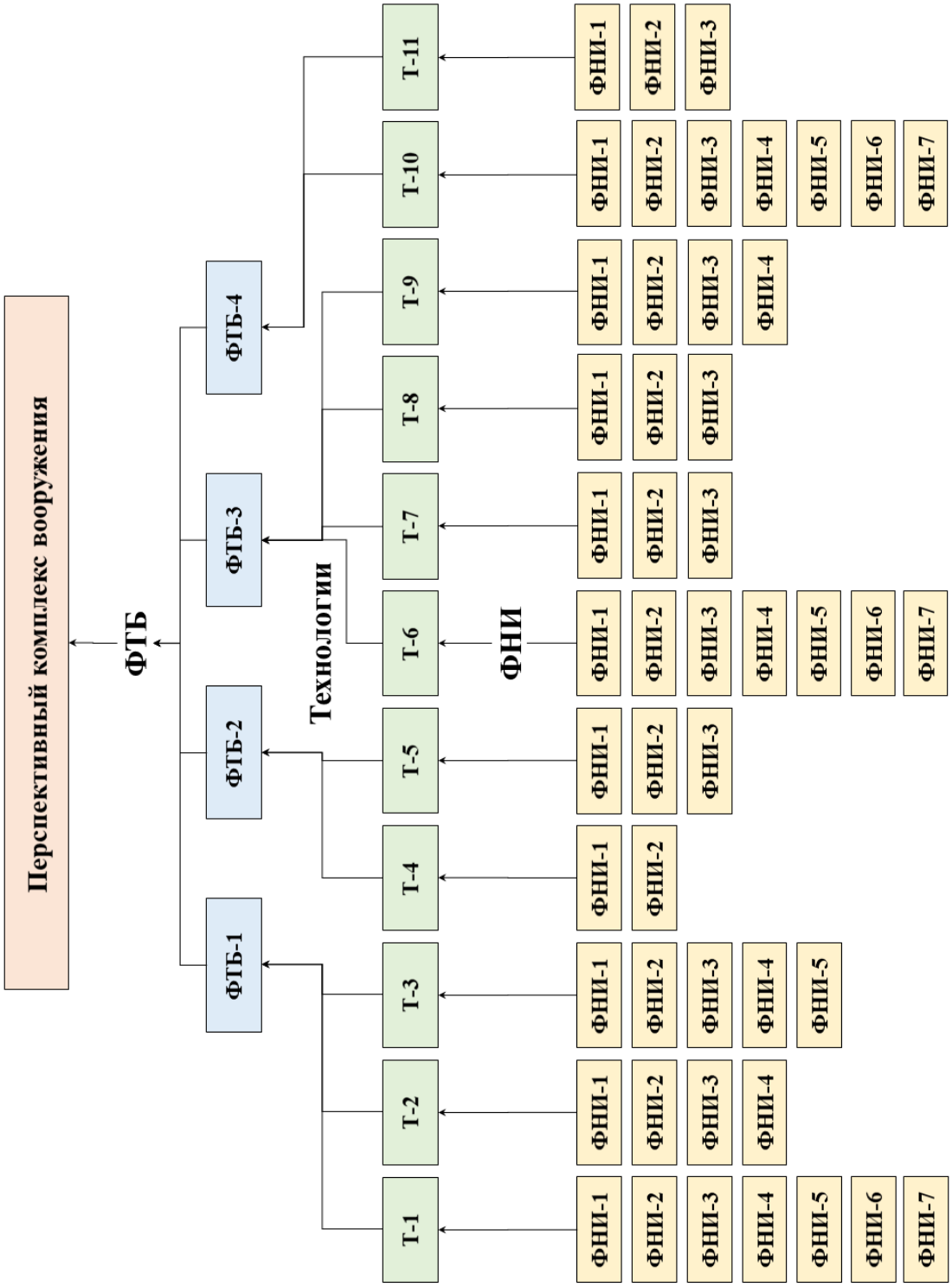

Рисунок 4 – Структурный технологический синтез ПКВ (пример)

Полные затраты на технологическое проектирование ПКВ выводятся суммированием затрат на создание ФТБ каждого типа и затрат на их комплексирование (интеграцию). Таким образом учитываются все необходимые компоненты затрат и одновременно зависимость основных характеристик ПКВ от состава и порядка взаимодействия ФТБ каждого типа с учетом их свойств.

При технологическом проектировании к функционально-технологическим блокам предъявляются дополнительные требования, в частности: по стандартизации и унификации их элементов; по условиям целесообразности использования заимствованных элементов аналогичного или другого функционального предназначения. Также должны учитываться требования, предъявляемые к ФТБ со стороны системообразующих блоков, определяющих принципиальную физико-техническую новизну ПКВ.

Требуется определить рациональный состав ФТБ в перспективном комплексе вооружения. В общем случае данная задача может быть сформулирована в трех вариантах с использованием принятого в методологии технологического проектирования комплексного критерия «эффективность – затраты – реализуемость» [8], в том числе:

- минимизация затрат. Находится вариант объединения ФТБ, при котором достигается минимум затрат, а эффективность ПКВ и сроки его создания не меньше, чем требуемые заказчиком;
- максимизация эффективности. Находится вариант объединения ФТБ, для которого при заданных затратах и сроках создания достигается максимум эффективности ПКВ;
- минимизация сроков создания ПКВ. В этом случае при заданных затратах и эффективности находятся оптимальные сроки полномасштабной отработки ключевых технологий.

Решение задачи в любом варианте ее формулировки позволяет получить рациональное число ФТБ каждого типа. Таким образом, на основе методологии технологического проектирования с использованием комплексного критерия «эффективность – затраты – реализуемость» представляется возможным обосновать технологический облик ПКВ.

Более подробно содержание технологического синтеза приведено в работе [2].

Совместное использование технологического анализа и синтеза

Совместное использование технологического анализа и синтеза ПКВ покажем на примере перспективного комплекса оружия направленной энергии, в частности, лазерного оружия (ПКЛО) [6].

Содержание основных этапов функционально-технологического обоснования ПКЛО приведено на рисунке 5.

Рассмотрим основные этапы, приведенные на рисунке 5.

Этап 1. Данный этап предусматривает:

- уточнение перечня и объема военно-технических задач, возлагаемых на ПКЛО и уровней их выполнения;
- обоснование технических требований к ПКЛО.

Этап 2. Разработка принципиальной функционально-структурной схемы ПКЛО.

Данная схема должна отражать состав основных ФТБ (подсистем) ПКЛО и внутренних связей между ними, которые будут реализованы в ходе его боевого применения.

Этап 3. Определение требуемых уровней основных ТТХ ПКЛО.

Этап 4. Формирование вариантов функционально-технологического построения ПКЛО.

В соответствии с разработанной принципиальной функционально-структурной схемой (см. этап 2), каждая подсистема включает в себя множество технологий, характеризующихся текущим уровнем развития и затратами, необходимыми для их перевода с существующего уровня на уровень, необходимый для реализации требуемых ТТХ ПКЛО.

Этап 5. Определение необходимости полномасштабной отработки технологий для каждой из подсистем, входящих в состав варианта ПКЛО.

Этап 6. Оценка текущего уровня технологий, которые предполагается использовать в составе каждого варианта функционально-технологического построения ПКЛО.

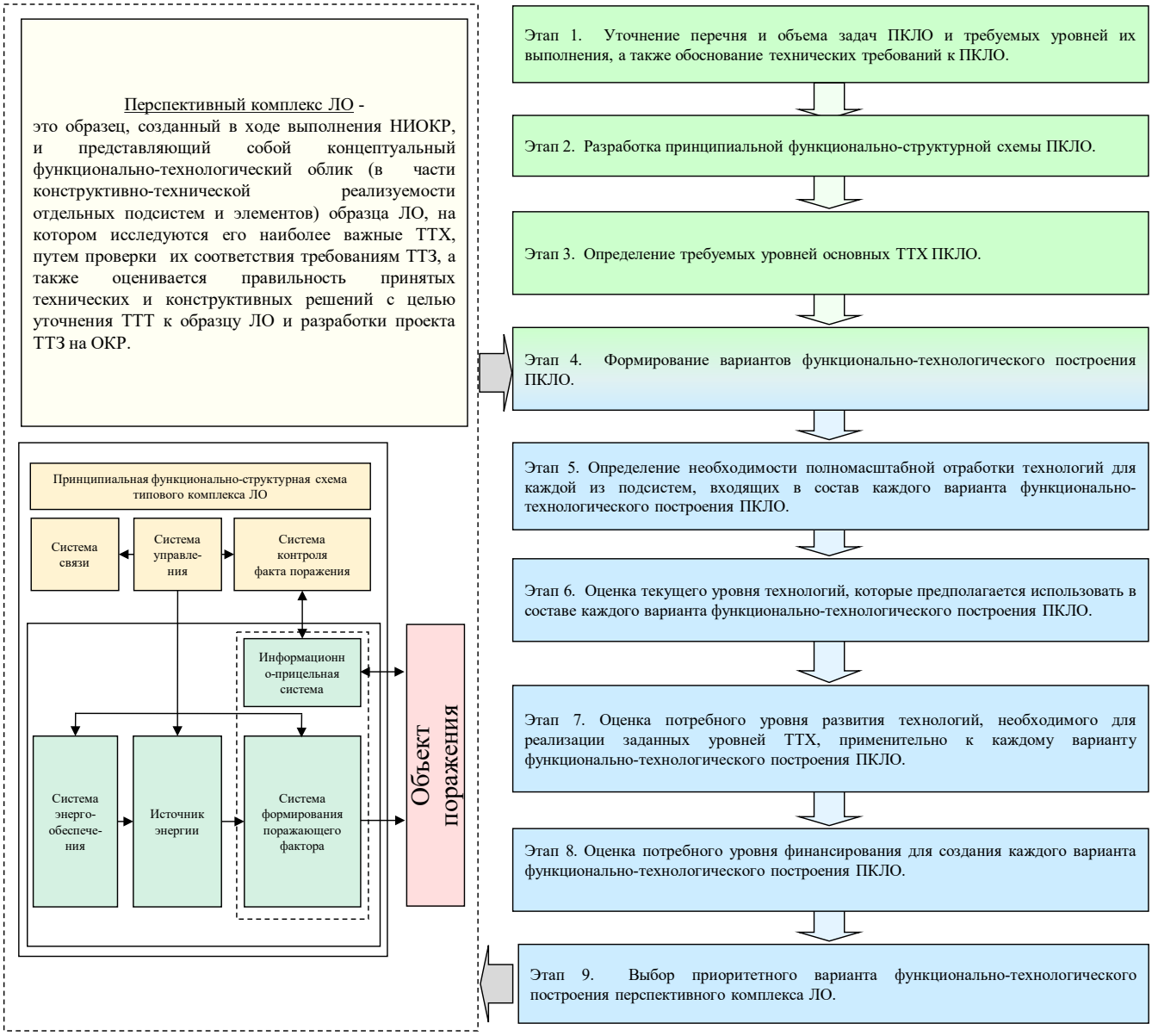

Рисунок 5 – Этапы функционально-технологического обоснования построения перспективного комплекса лазерного оружия

Оценка текущего уровня технологий осуществляется экспертными методами с использованием вербально-числовой шкалы [2], позволяющей установить соответствие между степенью проработанности технологии, необходимой для разработки каждой подсистемы, и ее числовой оценкой. В данном случае от специалистов, привлекаемых к экспертизе, требуется дать однозначный ответ на следующий вопрос: «на каком уровне в настоящий момент находится технология?».

Этап 7. Оценка потребного уровня развития технологий, необходимого для реализации заданных уровней ТТХ, применительно к каждому варианту функционально-технологического построения ПКЛО.

Данная оценка также осуществляется экспертным путем с использованием вербально-числовой шкалы, приведенной в работе [2].

Этап 8. Оценка потребного уровня финансирования для создания каждого варианта функционально-технологического построения ПКЛО.

Определение объемов финансирования, необходимых для перевода каждой используемой в составе комплекса ОНЭ технологии с текущего уровня на требуемый уровень, осуществляется на основе следующей зависимости:

$$\Delta C = f(\Delta\alpha), \quad (5)$$

где: $\Delta\alpha = |\alpha_{потр} - \alpha_{тек}|$; $\alpha_{потр}$ – требуемый для реализации ТТХ уровень развития технологии; $\alpha_{тек}$ – текущий уровень развития технологии.

Указанная зависимость строится на основе выборочной совокупности по предыстории разработок и позволяет рассчитать потребные затраты для перевода технологии с более низкого текущего уровня готовности $\alpha_{тек}$ на более высокий уровень $\alpha_{потр}$, необходимый для обеспечения требуемых ТТХ ПКЛО.

Для ориентировочных расчетов применима типовая модель [6] оценки показателей готовности (зрелости), стоимости и риска разработки технологий, учитывающая особенности ПКЛО, содержание которой представлено в таблице 1.

В таблице 1 приведены возможные уровни развития технологий (соответствующие стадиям их разработки), технологические риски для каждого уровня развития технологии, стоимостные множители, характеризующие затраты, необходимые для перевода технологии с низкого текущего уровня $\alpha_{тек}$ на более высокий – требуемый уровень развития $\alpha_{потр}$.

Этап 9. Военно-экономическая оценка и выбор приоритетного варианта ПКЛО.

Военно-экономическая оценка вариантов функционально-технологического построения ПКЛО осуществляется на основе комплексного критерия «эффективность – стоимость – – реализуемость». Общее содержание данного критерия и практическое использование на этапах формирования научно-технического задела для создания перспективных изделий различного назначения отражено в работах [1-3; 6; 8-10].

Таким образом, в статье раскрыто технологическое содержание анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения и приведены их практические примеры.

Заключение

1. На основе обобщения научного знания установлены существенные различия в технологическом содержании анализа и синтеза: предмет технологического анализа – это составные части (элементы) на каждом уровне декомпозиции ПКВ, а предмет синтеза – те отношения между ними, которые формируют технологический облик перспективного комплекса вооружения, начиная с самого нижнего уровня. При этом возможны разнообразные синергетические эффекты (военно-технические, технологические, экономические) в результате установления новых отношений между составными частями формируемого технологического облика перспективного комплекса вооружения. Технологическое содержание анализа и синтеза различается не только предметом, но и методами исследования.

2. Технологический анализ ПКВ показан на примере метода обоснования рационального состава ФНИ на основе установления взаимосвязи требований, предъявляемых заказчиком к ТТХ и потребностей в проведении ФНИ, направленных на создание научно-технического задела. Сформулирована постановка задачи технологического анализа и приведена последовательность ее решения с использованием метода экспертных оценок на каждом уровне декомпозиции ПКВ. Установлено, что технологический анализ на основе оценки влияния результатов ФНИ на создание ПКВ представляет собой многоэтапный и многоуровневый процесс последовательного экспертного анализа (моделирования).

Таблица 1 – Типовая модель оценки показателей готовности (зрелости), стоимости и риска разработки технологий ПКЛО

	Уровни готовности (зрелости) технологий ПКЛО								
	Первый уровень готовности	Второй уровень готовности	Третий уровень готовности	Четвертый уровень готовности	Пятый уровень готовности	Шестой уровень готовности	Седьмой уровень готовности	Восьмой уровень готовности	Девятый уровень готовности
Состояние разработки технологий	Проводятся исследования новых явлений, законов, физико-химических эффектов и закономер-ностей	Оценивается возможность создания новой технологии. Теоретические и компьютерные исследования	Технология находится на стадии разработки. Проводятся аналитические, эксперимен-тальные (лабораторные) исследования элементов технологии ПКЛО. Концепция технологии определена	Технология ПКЛО подходит к стадии разработки. Проводятся исследования по созданию в лабораторных условиях макетов и проверка их работоспо-собности	Технология ПКЛО готова для использования в эксперимен-тальных образцах. Положения концепции технологии подтверждены	Технология ПКЛО готова для испытаний в эксперимен-тальных образцах. Проводятся испытания эксперимен-тального образца в точно воспроизведенной в лабораторных условиях окружающей обстановке, т.е. в условиях, близких к реальным условиям	Технология испытана на эксперимен-тальных образцах и готова для внедрения в образцы ПКЛО. Концепция технологии ПКЛО продемонстри-рована. Эксперимен-тальный образец ПКЛО	Технология ПКЛО (типовые подсистемы, модули и блоки) испытана в реальных условиях и готова для широкого применения. Опытный образец ПКЛО	Технология ПКЛО практически испытана и используется в образце (комплексе) ЛО
Стадия разработки технологии	Фундаментальные научные исследования	Поисковые исследования	Прикладные исследования						ОКР
Технологичес-кий риск	Абсолютно высокий	Чрезвычайно высокий	Очень высокий		Высокий		Средний	Низкий	Очень низкий
Стоимостной множитель	$\alpha_1 = 3{,}7$	$\alpha_2 = 3{,}1$	$\alpha_3 = 2{,}57$	$\alpha_4 = 2{,}02$	$\alpha_5 = 1{,}94$	$\alpha_6 = 1{,}74$	$\alpha_7 = 1{,}47$	$\alpha_8 = 1{,}21$	$\alpha_9 = 1$
Затраты на развитие технологий	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9

3. Технологический синтез ПКВ включает в себя формирование множества возможных вариантов и выбор рациональных вариантов на каждом уровне декомпозиции ПКВ, которые обеспечивают выполнение заданных заказчиком требований к ТТХ (эффективности) ПКВ при минимальных затратах на реализацию этих вариантов. Метод решения задачи технологического синтеза – структурный синтез оптимальной совокупности технологических решений на каждом уровне декомпозиции ПКВ. Решение данной задачи может быть осуществлено с использованием экспертных оценок, а при наличии исходных данных по эффективности ПКВ и затратам – аналитически.

4. Совместное использование технологического анализа и синтеза показано на примере перспективного комплекса лазерного оружия. В этом случае формирование технологического облика ПКВ осуществляется одновременно за счет интеграции двух разнонаправленных движущих сил:

- заданных заказчиком требований к ПКВ;
- формированием множества возможных вариантов и выбор из них рациональных вариантов на каждом уровне декомпозиции ПКВ, начиная с самого нижнего.

Основные преимущества такого метода:

- совместный учет не только взаимосвязи и взаимообусловленности отдельных уровней декомпозиции, но и отношений между составными частями (элементами) ПКВ на каждом уровне;
- возможность получения достоверных результатов (при наличии единых исходных данных) при использовании различных моделей и методов технологического анализа и синтеза перспективного комплекса вооружения.

5. В результате проведенного исследования подтверждена нетождественность и разнонаправленность процессов технологического анализа и синтеза и в то же время их неразрывная связь при формировании технологического облика ПКВ: анализ – это одновременно и синтез, а синтез – это одновременно и анализ.

Список источников

1. Избранные труды академика А.Г. Шипунова: сб. публикаций. В 3 т. Т.3. М.: Граница, 2017. 456 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., Подольский А.Г., Пронин А.Ю. Системное проектирование высокотехнологичной продукции: методология и практика. М.: Инфра-М, 2024. 384 с.
4. Левин Г.Д. Анализ и синтез // Вопросы философии. 2016. №2. С. 95-104.
5. Чанышев А.Н. Аристотель. М.: Мысль, 1981. 200 с.
6. 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.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
8. Военно-экономический анализ / Под ред. С.Ф. Викулова. М.: Воениздат, 2001. 350 с.
9. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции. М.: Граница, 2012. 423 с.
10. Буравлев А.И. О задачах многокритериального выбора // Вооружение и экономика. 2021. №1(55). С. 131-138.

Информация об авторах

А.В. Леонов – доктор экономических наук, профессор.
А.Ю. Пронин – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 6833-7914.
В.В. Титоренко – кандидат технических наук, SPIN код автора 5945-1532.