УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_116

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМЫСЛА И ОПИСАНИЯ
ПРИ СОЗДАНИИ ИЗДЕЛИЙ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
СЛОЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

**TO THE QUESTION OF THE FORMATION OF THE CONCEPT
AND DESCRIPTION WHEN CREATING PRODUCTS OF A HIGH DEGREE
OF TECHNOLOGICAL COMPLEXITY OF WEAPONS OF MILITARY
AND SPECIAL EQUIPMENT BASED ON DIGITAL TWINS**

По представлению чл.-корр. РАРАН А.И. Михайлина

В.Ю. Кулемин

СПбПУ Петра Великого

V.Y. Kulemin

Рассмотрены подходы к формированию замысла и разработки на его основе описания для создания изделий с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС). Показана геополитическая необходимость опережающего создания ИВСТС вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Определены проблемы создания ВВСТ: разунификация, незавершенный научно-технический задел (НТЗ), раннее принятие решений при проектировании. Предложено решение проблем путем формирования замысла и описания ИВСТС ВВСТ с помощью системного инжиниринга и цифровых двойников изделий, обеспечивающих заданные характеристики при многократном снижении временных и ресурсных затрат.

Ключевые слова: изделие высокой степени технологической сложности, вооружение, военная и специальная техника, разунификация, незавершенный научно-технический задел, замысел, описание, цифровой двойник изделия, системный инжиниринг.

The approaches to the formation of the concept and the development of a description based on it for the creation of products with a high degree of technological complexity (PHDTC) are considered. The geopolitical necessity of advanced creation of PHDTC of armament, military and special equipment (AMSE) is shown. The problems of the creation of the VVST are identified: de-unification, incomplete scientific and technical reserve (STR), earlier decision-making during design. The solution of problems is proposed by forming the concept and description of the PHDTC of the AMSE, with the help of system engineering and digital twins of products that provide the specified characteristics with a multiple reduction in time and resource costs.

Keywords: product of high degree of technological complexity, armament, military and special equipment, disunification, scientific and technical reserve, concept, description, digital twin of the product, system engineering.

Введение

Сложившаяся внешнеполитическая обстановка, угрозы и вызовы требуют новых подходов к защите национальных интересов и обеспечению безопасности Российской Федерации. Как отмечено в Концепции внешней политики Российской Федерации: «Повышается роль фактора силы в международных отношениях, в ряде стратегически важных регионов расширяется конфликтное пространство. Дестабилизирующие наращивание и модернизация наступательных военных потенциалов, разрушение системы договоров в сфере контроля над вооружениями подрывают стратегическую стабильность» [1]. Для адекватного ответа на вызовы необходимы проактивные меры по развитию эффективных военно-технических систем на основе высокотехнологичных изделий (комплексов) ВВСТ. Причины принятия проактивных мер: появление новых угроз и вызовов национальной безопасности РФ; возросшая вероятность возникновения локальных войн и вооруженных конфликтов нового поколения в непосредственной близости от границ Российской Федерации; пересмотр взглядов военно-политического руководства ведущих иностранных государств на участие Вооруженных сил в будущих вооруженных конфликтах [2].

Следует предпринять проактивные меры на основе системного инженерного подхода, обеспечиваемого: 1) способностями разработчиков перспективных образцов ВВСТ опередить зарубежных оппонентов; 2) возможностями стейкхолдеров и заказчика, готовых организовать и обеспечить научно-технический задел и развить на его основе высокотехнологичный производственный процесс.

Решение задачи по оснащению ВС РФ высокотехнологичными изделиями ВВСТ предлагается путем создания изделия с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС) на основе системного инжиниринга и цифровых двойников [3]. Принимая во внимание принципы успешной системной инженерии, предложенные коллективом во главе с Б. Бозмом [4], в частности два из них обращают внимание разработчиков на «Описание»:

– описание и развитие системы в разрезе ценности для заинтересованных сторон (Stakeholder Value-based System Definition and Evolution);

– совместное мульти-дисциплинарное описание и разработка системы (Concurrent Multidiscipline System Definition and Development). Но уже в самом начале этого пути возникает ряд проблем, не позволяющих создаваемой системе быть успешной.

Одной из проблем создания новых и перспективных образцов ВВСТ является разунификация, в том числе это связано с индивидуальными и специфическими подходами в ведущих КБ при проектировании образцов ВВСТ. Для преодоления проблемы предлагается начиная с этапа проектирования проводить унификацию по: базовым шасси; средствам связи; средствам автоматизации управления, включая технические и программные компоненты [5].

Другой проблемой является незавершенный научно-технический задел (НТЗ), состоящий из научно-технологического задела (НТЛЗ) и производственно-технологического задела (ПТЗ), входящих соответственно в госпрограммы вооружений и оборонно-промышленного комплекса [6]. В частности, состав заделов содержит: по НТЛЗ: новые составные части, модули и блоки; алгоритмы и программы для вычислительной техники; лабораторное и испытательное оборудование; технические задания на НИР и ОКР; по ПТЗ: производственные технологии; станки, производственное и испытательное оборудование; измерительные приборы [4]. Отметим, что все перечисленные элементы НТЗ входят в состав ИВСТС и должны быть сбалансированы с учетом их функций, иерархии, связей, взаимного влияния, требований и ограничений.

Это возможно осуществить только с применением цифровых двойников изделий (ЦД) [8], цифровых (виртуальных) испытательных стендов и цифровых (виртуальных) испытательных полигонов, связывающих воедино элементы, связи, функции, структуру и их взаимодействие и влияние на них окружающей среды посредством «сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам / конструкциям / машинам / приборам ... / техническим и киберфизическим системам, физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы), описываемых 3D нестационарными нелинейными

дифференциальными уравнениями в частных производных» [8].

Например, успешный опыт применения ЦД, оперирующих множествами данных «большой мощности», показан для случая многопараметрической оптимизации порядка десять в двенадцатой степени характеристик на примере кузова внедорожника: «Разработанная высокоадекватная модель (цифровой двойник) кузова внедорожника SUV обеспечивает детальный учет характеристик материалов, совместно используемых в одном изделии, оценку до 10^{12} характеристик этого изделия при погрешности моделирования не более 5 % по каждой из них» [9].

Заделы НТЛЗ и ПТЗ в своей совокупности должны обеспечить создание новых систем ВВСТ и решение принципиально новых задач ВС РФ, вытекающих из складывающейся внешнеполитической обстановки. Для этого Правительство РФ утвердило Перечень критических технологий Российской Федерации, где первым пунктом определены Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники, боеприпасов и спецхимии [10]. Эти технологии призваны служить для программно-целевого обеспечения реализации военно-технической политики РФ и позволяют сформулировать критерии для многокритериальной оценки критических военных технологий и сформировать приоритеты по созданию НТЗ для «перспективных и нетрадиционных ВВСТ в форме перечня базовых и критических военных технологий на 10-летний период» [11].

Третьей проблемой является раннее принятие решения о создании нового образца ВВСТ. Такое возможно, если не проведены концептуальные исследования на уровне системного проектирования и не отработан до конца комплекс необходимых технологий для их реализации, соответственно не проведен системный анализ по применению их в системах верхнего уровня [12]. Тогда тактико-технические требования на перспективные образцы на основе экспертных оценок не имеют данных по концептуальным исследованиям. В результате происходит занижение параметров и характеристик образцов ВВСТ в силу отставания уровней готовности технологий и производства для их создания.

Формирование замысла и описания

Для получения прорывных решений следует на этапе проектирования ИВСТС ВВСТ выполнить формирование замысла, последующее построение смыслов и функций, обеспечивающих их реализацию, на основе функционально-структурного анализа и последующего структурно-конструктивного синтеза, в дальнейшем учитываемых как совокупность требований тактико-технического задания (ТТЗ).

Требования формируются в виде описания изделия и уточняются при последующем численном моделировании изделия для выявления возможности реализации заданных функций, структуры и состава образца ВВСТ и подтверждения их реализации даже при условии НТЗ и трансформируются в ТТЗ. Такой подход позволяет решить в том числе проблемы разуплотнения, существования НТЗ на критически важных направлениях обеспечения безопасности РФ и раннего принятия решений в процессе создания новых образцов ИВСТС ВВСТ. Причем процесс взаимной увязки — балансировки требований и ограничений для ИВСТС в ТТЗ будет реализован на основе ЦД с учетом технологий изготовления и испытательного оборудования в ходе создания ПТЗ.

Понятие «Замысел» при проектировании показано в группе «Инициирование» для отслеживания замысла в Процессе I.5.1 «Назначение ответственных»: «На данной фазе существует только начальная идея (замысел) или запрос клиента, которые должны обрабатываться и разрабатываться на последующих этапах...» [15].

Понятие «Замысел» имеет следующие описания и значения: 1) задуманный план действий; 2) намерение к действию; 3) действие, необходимое для проектирования; 4) замысел стратегический; 5) замысел тактический; 6) идея; 7) основная мысль [14, 15]. В нашем случае замысел несет в себе намерение разработать новое изделие — ИВСТС, ставит цель для его создания, содержит идеи и намечает план действий для реализации этого намерения и в то же время позволяет сформировать стратегию (путь), по которой пойдет процесс создания в краткой и/или обобщенной форме. Причем замысел ИВСТС должен четко определять конечный результат в соответствии с потребностями

стейкхолдеров и заказчика и основываться на комплексе научных теоретических и практических знаний в целевой и смежных с ней областях функциональной деятельности, применения (боевого) и использования. Более того, замысел постоянно совершенствуется по мере уточнения условий, возможностей, требований и ограничений, и получения новых знаний об объекте и научных достижений в интересующей области. В то же время замысел является ментальным вектором, позволяющим мыслить долгосрочно, на перспективу и задающим направление действий по созданию ИВСТС.

Замысел необходим для формирования наглядного образа будущего изделия, что удобно иллюстрировать схемами (функциональными, структурными, принципиальными и др.), отображающими связи системы между элементами и подсистемами. Защита информации от утечек, в том числе по структуре, составу, принципу действия и т.д. для ИВСТС, где замысел имеет ключевое значение, регулируется статьей 2.4. ГОСТ Р 50922 [16]. С другой стороны, замысел является основой описания, позволяющего описать назначение будущей системы систем — ИВСТС, его функции, структуру, подсистемы, состав, элементы систем и подсистем, взаимосвязи между ними и окружающей средой.

Замысел содержит идею создания и ряд ключевых мыслей об изделии; функционально представляет собой намерение и план действий, необходимый для проектирования и создания изделия на основе тактических и стратегических приемов и смыслов; отображается вербально и невербально на носителе информации. Тогда сформулируем вербальное, лингвистическое определение замысла: «Замысел ИВСТС — определенный набор функций, взаимосвязанных структурных элементов системы и действий с ними с учетом требований, ограничений и назначения, а также ожидаемых заинтересованными сторонами результатов с целью создания ИВСТС, отображенный вербально и/или формально и являющийся основанием для описания».

Невербальное, математическое описание замысла из-за изменения поведения сложных технических систем (СТС) многосложное и многоплановое. Например, для СТС S , имеющей

неупорядоченное множество свойств $Q_i = \{Q_i\}$ и взаимодействующей с внешней средой в случае с приростом внешнего воздействия Δ , больше чем некоторое пороговое значение Δ^* (для ИВСТС это встречается часто), которое основывается на преобразовании вещества, энергии и информации, лингвистически можно определить «постулатом действия», в соответствии с которым математическое определение замысла в плане ответного действия системы (при времени $t = 0$) будет следующим:

$$(\forall S \exists \Delta^*) [\Delta < \Delta^*, (\forall_i)(Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0));$$

$$\Delta > \Delta^*, (\forall_i)(Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0))].$$

Тогда лингвистическое определение замысла ИВСТС будет: «Реакция ИВСТС на внешнее воздействие имеет пороговый характер».

На основании замысла создается Описание ИВСТС, состоящее из описаний морфологического, функционального и информационного, включая модели эксплуатации, применения (боевого) и использования. Описание содержит аспекты: функциональный, структурно-конструктивный, производственно-технологический, технико-экономический, экологический, эксплуатационный и т.д. Каждый из аспектов описания содержит и отражает ряд свойств ИВСТС, формируется, создается и уточняется на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ), в ходе исследования, проектирования и эксплуатации.

Аспекты описания ИВСТС как СТС имеют иерархическую структуру, которые декомпозируются в описании с уровня мета на уровни мега, макро, мезо, микро. Что экономит ресурсы на этапе математического и компьютерного моделирования с разбиением метамодели ИВСТС на блоки из более простых мега-, макро-, мезо-, микромоделей (и соответствующих им математических моделей) с последующим построением иерархии всей совокупности моделей — метамодели, состоящей из блоков и элементов. Сложность ИВСТС оценивалась ранее в [17]. С учетом иерархии требованиям необходима «Последующая итерационная рациональная «балансировка» основана на повышении адекватности описания объекта / системы / машины / конструкции / ... на разных этапах

жизненного цикла семейством взаимоувязанных мультидисциплинарных математических моделей — {ММ: ММ⁽¹⁾, ММ⁽²⁾, ..., ММ^(N_{mm})}» [18].

Поэтому блочно-иерархический подход в описании ИВСТС позволяет производить деление на блоки и элементы, как составные части блоков, с учетом их иерархического уровня (уровня абстрагирования) и сформировать комплексное видение системы систем в целом или получить холистическое (целостное) видение [19]. Отсюда можно осмыслить и соответственно описать ИВСТС в целом или холистически во всей совокупности функций, свойств, характеристик, состава и структуры «целое — это нечто большее, чем сумма его частей» [20]. Это позволяет органически оперировать со вновь возникающими свойствами этого целого (как организма). Что присуще человеческому мышлению, специфически организованному в ходе холистического подхода со вновь возникающими свойствами системы и соответственно приводящему к появлению новых путей к достижению цели и решению поставленных задач в целом.

Например, для сложных систем с числом элементов N , каждый i -й элемент имеет число входов m_i и выходов n_i , запишем вектор входа $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ и вектор выхода $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Зависимость вход, выход для каждого элемента N с учетом времени преобразования, и вектор-функции запаздываний $\boldsymbol{\tau} = \{\tau_i\}$, будет:

$$y(t) = f(t, x(t - \tau(t))).$$

Далее принимая следующие предположения: преобразования идут с переменными задержками $\tau(t, x(t))$; вектор-функции $\{\mathbf{f}\}$ существенно нелинейны и могут изменяться во времени; структура системы (то есть связи между элементами) может меняться во времени; некоторые элементы системы могут разрушаться (диссимилировать в среду); система может присоединять часть элементов среды (ассимилировать) с образованием новых связей с ними $N = N(t)$, причем изменения могут происходить: по априорной программе; в зависимости от значений входов внутренней части; тогда под влиянием среды получим для замкнутой цепи внутренней части системы:

$$X(t) = \Phi(X(t - \tau)). \quad (1)$$

Для определения изменений системы возьмем производную от выражения (1):

$$\dot{X}(t) = \frac{1}{\tau_m} \frac{\partial \Phi}{\partial X} [X(t) - X(t - \tau)] + \frac{\partial \Phi}{\partial t} X(t - \tau). \quad (2)$$

После преобразований (2) аналогично [24] получим фундаментальное уравнение сложной системы, учитывающее нелинейность, много — связность, память, ассимиляцию, диссимиляцию и развитие на основании программ в виде:

$$\dot{X}(t) = F(t, X(t), X(t - \tau)).$$

Тогда описание ИВСТС возможно сформировать из набора фундаментальных уравнений для СТС, входящих в ИВСТС. Учитывая, что ЦД — это система цифровых моделей (в виде совокупности математических и компьютерных моделей высокого уровня адекватности) и электронных документов, отсюда возможно сформировать «полное математическое описание посредством семейств мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности, и обеспечивается математическим и компьютерным моделированием» [17] с учетом актуальной декомпозиции без потери точности моделей. Поэтому на основе ЦД возможно создание «математической модели высокого уровня адекватности, которая ведет себя практически точно так же, как реальный объект в натуральных испытаниях, а затем и на этапе эксплуатации», что позволит получить прорывные решения в создании ИВСТС ВВСТ и обеспечить проактивные меры для снижения внешних угроз РФ.

Заключение

Замысел и описание на раннем этапе проектирования учитывают и постоянно поддерживают актуальной всю информацию о создаваемом образце ИВСТС ВВСТ. Описание становится неотъемлемой частью ИВСТС на всем ЖЦ, включая модель эксплуатации, применения (боевого) и использования. Такой подход экономит ресурсы для создания ИВСТС и дает полное математическое описание посредством семейств мультидисциплинарных математических и компьютерных моделей с высоким уровнем адекватности,

минимизирует ошибки проектирования и многократно снижает временные и финансовые затраты при проектировании и производстве ИВСТС. Разработка ИВСТС ВВСТ на основе системного инжиниринга и цифровых двойников обеспечивает проактивные меры по созданию ИВСТС ВВСТ в ответ на внешние вызовы РФ.

Литература

1. Концепция внешней политики Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 31 марта 2023 года). <https://www.mid.ru/ru/detail-material-page/1860586/> (дата обращения: 27.07.2023).

2. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Инновационно-технологические пути обеспечения национальной безопасности России: монография. М.: ИНФРА-М, 2022. 268 с.

3. Кулемин В.Ю. К вопросу о системном инжиниринге при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 2 (127) С. 89–94.

4. Boehm B. et al. Principles for Successful Systems Engineering // *Procedia Computer Science*. 2012. № 8. Pp. 297–302.

5. Борисов Ю.И. Особый задел // Военно-промышленный курьер. 2017. № 9 (673). 09.03.2017.

6. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Инновационно-технологические пути обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 47 (284). С. 2–10.

7. ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М. Российский институт стандартизации. 2021. 115 с.

8. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. 2018. № 1. С. 6–33.

9. Коростелкин А.А. и др. Оптимизация массы кузова в контексте краш-теста автомобиля класса внедорожник // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 44–50.

10. Правительство РФ, распоряжение от 14.07 2012 года № 1273-р «Об утверждении перечня технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)». <http://government.ru/docs/21426/> (дата обращения: 17.08.2023).

11. Корчак В.Ю., Реулов Р.В., Стукалин С.В. и др. Базовые и критические технологии — приоритет научно-технической политики государства // Компетентность / Competency (Russia). 2022. № 3. С. 20–29.

12. Клочков В.В., Лукашов А.М., Максимов В.В. и др. Опережающее создание научно-технического задела в интересах развития вооружения, военной и специальной техники // Военная мысль. 2018. № 12. С. 23–32.

13. ГОСТ Р 56715.2-2015 Проектный менеджмент. Системы проектного менеджмента. Часть 2 Процессы и процессная модель. М.: Стандартинформ. 2020. 42 с.

14. Безрукова В.С. Основы духовной культуры (энциклопедический словарь педагога). Екатеринбург. 2000. 937 с.

15. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный: [В 2 т.]. Москва : Рус. яз., 2000. 2292 с.

16. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ. 2008. 12 с.

17. Кулемин В.Ю. Подходы к оценке сложности при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения, военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3 (128) С. 92–97.

18. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А. Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении // *Neftegaz.Ru*. 2020. № 6 (102) С. 30–35. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2020/06_june/29/neftegaz-18-21.pdf (дата обращения: 04.09.23).

19. Комлев Н.Г. Словарь иностранных слов: [более 4500 слов и выражений]. М.: Эксмо, 2006. 669 с.

20. Kendra Cherry, MEd What Is Holism? How psychologists use holism to understand behavior. <https://www.verywellmind.com/what-is-holism-4685432> (дата обращения: 26.07.2023).