

2020
№ 3 (53)

**Вооружение
и экономика**

<p>46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации</p> <p>Российская академия ракетных и артиллерийских наук</p> <p>Академия проблем военной экономики и финансов</p>	<p>Вооружение и экономика № 3 (53) / 2020 Электронный научный журнал</p> <p>http://www.viek.ru</p>
	<p>Содержание</p>
	<p><u>Военно-техническая политика</u></p>
<p>Издается с 2008 года</p> <p>Журнал «Вооружение и экономика» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук</p>	<p><i>Буравлев А.И., Артеменко В.Б.</i> Об оценке вклада научно-технического задела в создание высокотехнологичной продукции военного назначения 4</p>
	<p><i>Бобров И.Б., Борщевская Н.А., Дьяконов И.В., Кондратьев И.В., Ковлаков Е.В., Кулик С.П., Страупе С.С., Стручалин Г.И., Сысоев Н.Н.</i> Квантовая обработка информации: фундаментальные и прикладные аспекты 13</p>
	<p><i>Волков В.Ф., Пономарев А.С.</i> Применение метода стохастического динамического программирования при оценивании риска невыполнения программы разработки новых типов вооружения в заданный срок 31</p>
<p>Свидетельство о регистрации СМИ от 7 декабря 2012 г. № ФС77-52083</p>	<p><i>Лещинский А.П.</i> Полный жизненный цикл корабля. Ресурсно-процессный подход 38</p>
<p>ISSN 2071-0151</p>	<p><u>Военная экономика</u></p>
<p>Издатель: Российская академия ракетных и артиллерийских наук:</p>	<p><i>Подольский А.Г., Родин А.А.</i> Постановка задачи оценки и анализа результативности и эффективности научной деятельности подразделений и научных работников научно-исследовательских организаций Минобороны России 43</p>
<p>107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3</p>	<p><i>Найденов В.Г., Першин Е.В.</i> Методический подход к формированию рационального типажа средств траекторных измерений испытательного полигона Министерства обороны Российской Федерации 51</p>
<p>rk@viek.ru</p>	

Главный редактор В.М. Буренок	Бабенков В.И., Гасюк Д.П., Дубовский В.А. Метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники	59
Редакционная коллегия		
А.А. Александров О.Б. Ачасов О.И. Бочкарев А.В. Быстров А.А. Венедиктов (зам. гл. ред. – уч. секр.) С.Ф. Викулов (зам. гл. ред.) В.Л. Гладышевский Г.И. Горчица В.А. Горшков В.М. Кашин А.А. Кокошин Г.А. Лавринов (зам. гл. ред.) А.В. Леонов Ю.М. Михайлов А.А. Рахманов Е.Ю. Хрусталеv А.А. Цельковских	Сосновских Н.А., Малышев Д.Н., Щипанов А.Н. Научно-технический задел и практическая целесообразность модернизации гусеничных шасси	66
	Адамов А.А., Бабкин Г.В. Место и роль диверсификации и импортозамещения оборонного производства в обеспечении военной безопасности Российской Федерации	71
	<u>Подготовка научных кадров</u>	
	Буренок В.М., Дурнев Р.А. Рассуждение о диссертации: тема исследования	81
	Сведения об авторах	89
	Аннотации и ключевые слова	95
	Правила представления авторами рукописей	100
	Порядок рецензирования рукописей	102
	Карточка статьи	103
Оформление, верстка М.М. Венедиктова	Карточка автора	103
Редактор Т.М. Молчанова	Условия подписки на полнотекстовую версию в Интернете	103
Перевод О.В. Криворучко	Сведения о членах редакционной коллегии	104

А.И. Буравлев, доктор технических наук,
профессор
В.Б. Артеменко, кандидат технических
наук

Об оценке вклада научно-технического задела в создание высокотехнологичной продукции военного назначения

В статье исследована зависимость уровня готовности научно-технического задела от времени его доведения до готовности к реализации в проекте. Предложен аналитический вид функции готовности научно-технического задела от времени в виде функции случайной величины. Оценка вклада научно-технического задела в создание перспективных изделий военной техники предлагается проводить путем определения и расчета на моделях получаемого эффекта от применения изделия. Сформулирована задача обоснования состава задела с учетом ожидаемого эффекта и затрат.

Важным этапом жизненного цикла высокотехнологичной промышленной продукции военного и двойного назначения является формирование научно-технического задела (НТЗ) [1-4]. Под НТЗ понимается совокупность научных, технических и технологических достижений, полученных в результате проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ по созданию новых знаний, материалов, технических устройств и технологий, содержащихся в научной и научно-технической документации по материалам, веществам, макетам и образцам технических изделий [1, 2]. Элементами научно-технического задела являются [1]:

- научные знания о явлениях, физико-химических эффектах и свойствах веществ, законах и закономерностях их развития;
- материалы и вещества, элементная база и составные части изделий вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ);
- технологии производства материалов, веществ и изделий, имеющих военное и двойное назначение;
- лабораторное и испытательное оборудование;
- алгоритмы и программы для ЭВМ;
- аванпроекты, технические задания на НИР и ОКР;
- макеты и экспериментальные образцы ВВСТ;
- нормативно-техническая и методическая документация по разработке, производству и эксплуатации материалов, веществ и изделий.

На рисунке 1 представлена схема жизненного цикла образцов ВВСТ и его связь с НТЗ. Как следует из этой схемы, НТЗ реализуется на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) образца ВВСТ.

По данным [1, 5], своевременное создание и реализация НТЗ в программах разработки ВВСТ США приводит к снижению на 30% стоимости разработок, в 1,9 раза – сроков разработок, на 20% – стоимости одного образца ВВСТ. Это свидетельствует о необходимости заблаговременного проведения работ по созданию НТЗ, разработке необходимых базовых и критических военных технологий для обеспечения инновационного развития ВВСТ. Неслучайно реализуемая в настоящее время в США концепция наступательного развития науки и технологий наиболее ярко проявляется в научно-технологической стратегии именно военного ведомства, где финан-

сирование работ по созданию НТЗ составляет порядка 10% от общих бюджетных затрат на развитие ВВСТ.

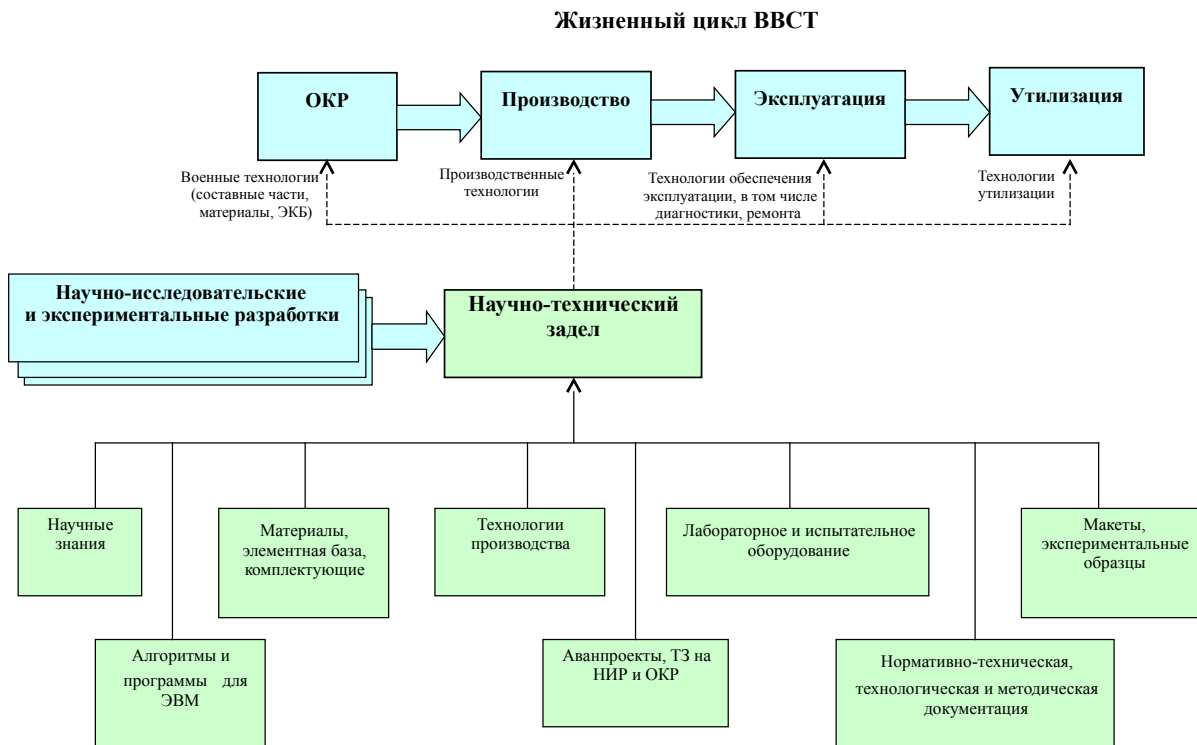


Рисунок 1 – Жизненный цикла ВВСТ и его связь с НТЗ

Кроме того, трансферт НТЗ, полученного в оборонной сфере, в гражданские отрасли экономики выполняет роль своеобразного «локомотива», обеспечивающего поступательное развитие практически всех отраслей промышленности, транспорта, связи [6].

Уровень готовности (степень «зрелости») элементов НТЗ принято оценивать в вербально-числовых (ординальных) шкалах с помощью экспертов, поскольку другой измерительной базы пока не существует [2, 3]. На практике применяют вербально-числовые шкалы, как правило, с пятью градациями (таблица 1).

Таблица 1 – Вербально-числовая шкала оценки уровня готовности элементов НТЗ

Градация уровня НТЗ	Время, необходимое для доведения НТЗ до готовности к использованию в проекте, лет	Оценочный балл, β	Оценка в интервальной шкале $q = \beta / \beta_{max}$
Низкий	>10	1-2	0,1-0,2
Ниже среднего	8-10	2-4	0,2-0,4
Средний	4-7	4-7	0,4-0,7
Выше среднего	2-4	7-9	0,7-0,9
Высокий	<2	9-10	0,9-1,0

Приведенные в таблице 1 вербально-числовые данные позволяют построить регрессионную зависимость уровня готовности НТЗ от времени на его доведение до готовности к реализации в проекте. На рисунке 2 показана аппроксимация экспертной зависимости уровня готовности НТЗ, по данным таблицы 1, уравнением регрессии $q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha t^2}{2}\right)$ с параметром $\alpha = 0,037 \text{ год}^{-2}$.

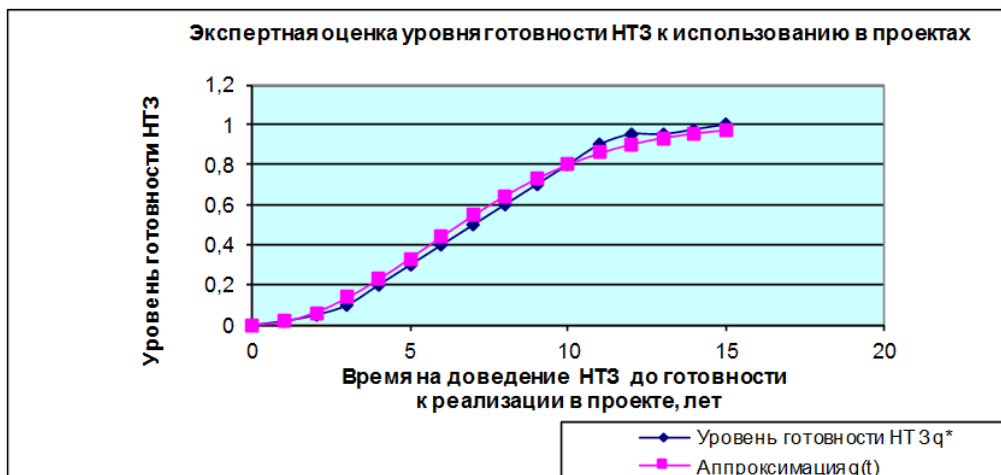


Рисунок 2 – Экспертная оценка уровня готовности НТЗ к использованию в проектах

Показатель адекватности данного уравнения составляет $R^2=0,993$, что говорит о высокой степени совпадения с экспертными оценками. Если принять, что время доведения НТЗ до готовности к использованию в проекте T является случайным, то событие ($T < t$) означает, что к моменту времени t НТЗ для использования не готов. Вероятность этого события как функции текущего времени $F(t)=P(T < t)$ есть функция распределения времени готовности T , и она может быть выражена через функцию готовности $q(t)$. Зная аналитическую зависимость $q(t)$, можно определить среднее время на создание НТЗ и его дисперсию по известным формулам теории вероятностей.

Среднее время создания НТЗ для функции готовности $q(t)=\exp\left(-\frac{\alpha t^2}{2}\right)$ составляет величину $t_{cp}=\sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}}\approx 7$ лет, а среднее квадратичное отклонение времени создания НТЗ $\sigma_t=\sqrt{\frac{4-\pi}{2\alpha}}\approx 3$ года. При этом уровень готовности НТЗ к среднему сроку составляет 0,53.

Время, необходимое для формирования НТЗ с высоким уровнем готовности (более 0,8), составляет приблизительно 10 лет. Соответственно планирование работ по формированию НТЗ для создания образца ВВСТ должно осуществляться с учетом 10-летнего упреждения.

Решение задач обоснования направлений и планирования развития НТЗ [1] основывается на оценке вклада НТЗ в создание перспективных систем вооружения. Оценка вклада НТЗ осуществляется, как правило, задолго до начала непосредственной разработки образца ВВСТ, когда точные требования к нему не определены и имеются неопределенности в окончательном облике перспективного образца ВВСТ.

Вместе с тем от обоснованности решений по развитию НТЗ и от правильности оценки вклада НТЗ, в частности, зависит готовность НТЗ к началу разработки образца ВВСТ и, соответственно, успешность создания ВВСТ. Поэтому оценка вклада НТЗ в создание перспективных систем вооружения представляет собой весьма важную и сложную научно-техническую проблему, для решения которой предлагается следующий методологический подход.

Функциональные (потребительские) свойства любой продукции характеризуются набором характеристик $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, при этом каждая характеристика имеет свою значимость (ценность). Эта значимость определяется, как правило, экспертами путем формирования набора коэффициентов $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$, отражающих ценностное предпочтение потребителем качества продукции.

Качество продукции – категория относительная, она всегда рассматривается по отношению к некоторой норме или эталону. Таким эталоном часто является существующий аналог новой продукции. По отношению к аналогу и формируется оценка качества инновационного продукта. Пусть $X^э = (x_1^э, x_2^э, \dots, x_n^э)$ – вектор качества эталонного продукта. В большинстве случаев потребитель не может заменить свое предпочтение характеристики x_i предпочтением характеристики x_j или допустить отсутствие (нулевое значение) какой-либо компоненты в векторе качества $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Такое требование является обязательным для продукции военного назначения.

В этом случае за обобщенный показатель качества инновационной продукции принимается мультипликативная свертка частных индексов качества [5]:

$$K = \prod_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{x_i^э} \right)^{w_i} . \quad (3)$$

По данному показателю можно оценивать уровень инновационности нового продукта с учетом предпочтений экспертов. Если $K > 1$, то продукт носит действительно инновационный характер, его качество превышает качество аналога с учетом ценностных предпочтений потребителя. При $K \leq 1$ продукт, естественно, не может иметь инновационного характера.

Качество продукта при правильном его применении обеспечивает получение ожидаемого эффекта. Эффект применения образцов ВВСТ принято оценивать показателями, характеризующими степень поражения (вероятностью поражения, величиной наносимого ущерба) объектов противника, его сил и средств. Для расчета этих показателей в настоящее время существует развитый научно-методический аппарат математического моделирования процессов боевого применения и оценки эффективности ВВСТ различного назначения [7]. С помощью математических моделей боевого применения ВВСТ и расчетных методик определяется зависимость показателя боевого эффекта от вектора тактико-технических характеристик ВВСТ.

Для достижения определенного уровня качества и боевого эффекта необходимо затратить ресурсы (материальные, трудовые, финансовые и пр.) на разработку, производство и эксплуатацию образцов ВВСТ в течение времени его жизни. Стоимость этих затрат $C(K)$ напрямую связана с их тактико-техническими и эксплуатационными характеристиками, т. е. качеством изделий.

С повышением качества ВВСТ происходит рост достигаемого эффекта, но одновременно и рост стоимости затраченных ресурсов, поскольку для повышения качества образцов применяются новые материалы, новая элементная база, используются более сложные конструкторско-технологические решения.

Наличие НТЗ и определенный уровень его готовности для использования при создании инновационной продукции оказывает прямое влияние на качество и эффективность ВВСТ, а также на затраты ресурсов, необходимые для его создания и эксплуатации.

Отсутствие НТЗ с достаточным уровнем готовности, прежде всего, снижает прирост качества $\Delta K = K - 1$ и эффективности $\Delta W = W(K) - W(1)$ ВВСТ. Также увеличиваются сроки создания и оснащения вооруженных сил новыми образцами ВВСТ. В результате появляется отставание в развитии систем вооружения и оснащении ими вооруженных сил.

Для демонстрации этого явления рассмотрим две сопоставимые системы вооружения с одинаковой начальной численностью $N(0)$ и уровнем качества ВВСТ $K=1$. С течением времени происходит моральное и физическое старение образцов ВВСТ с интенсивностью $\lambda \text{ год}^{-1}$ и модернизация парка с интенсивностью $\mu \text{ год}^{-1}$. В первой системе модернизация осуществляется непрерывно, а во второй – с задержкой τ . Качественное состояние парка ВВСТ будем характе-

ризовать уровнем современности парка ВВСТ $K = \frac{N(t)}{N(0)}$. Динамику изменения количественно-качественного состояния можно описать дифференциальными уравнениями следующего вида [7]:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = -\lambda N_1 + \mu [N(0) - N_1], \\ \frac{dN_2}{dt} = -\lambda N_2 + \mu \cdot \mathbf{1}(t - \tau) [N(0) - N_2], \end{cases} \quad (4)$$

где $\mathbf{1}(t - \tau) = \begin{cases} 0, & t < \tau \\ 1, & t \geq \tau \end{cases}$ – единичная функция задержки.

Соотношение численностей современных образцов ВВСТ в составе систем вооружения $P_1 = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{P_2}$ является характеристикой их потенциала. На рисунках 3, 4 показаны графики изменения потенциала второй системы вооружения $P_2 = \frac{N_2}{N_1}$ при одинаковых параметрах изменения состояния парка ВВСТ $\lambda = 0,1 \text{ год}^{-1}$, $\mu = 0,25 \text{ год}^{-1}$, но с различной задержкой в его обновлении. Из приведенных графиков следует, что чем больше задержка в обновлении парка ВВСТ, тем больше снижается потенциал системы вооружения и его среднее значение (рисунок 4).

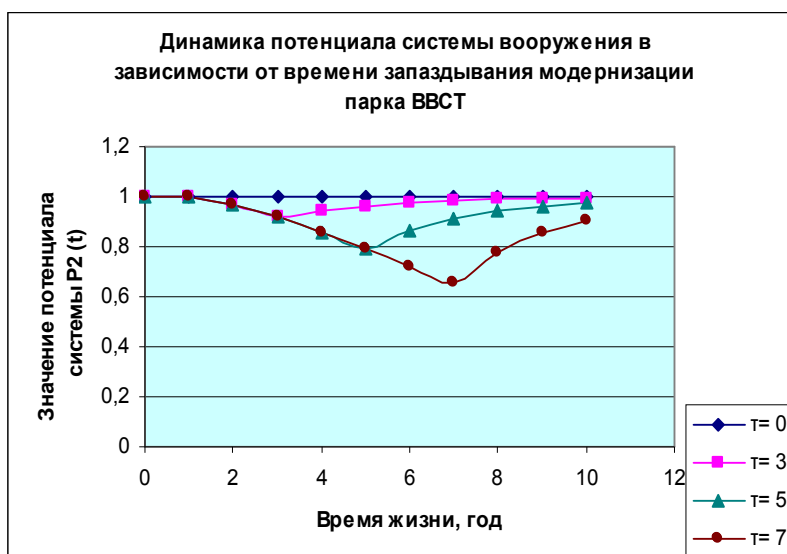


Рисунок 3 – Динамика потенциала систем вооружения в зависимости от времени запаздывания в обновлении парка ВВСТ

Кроме того, задержка в обновлении парка ВВСТ приводит к накоплению в его составе устаревших образцов ВВСТ и увеличению затрат на поддержание их готовности.

Рассмотрим возможность применения предлагаемого подхода к оценке вклада НТЗ для решения задачи обоснования направлений формирования НТЗ перспективного образца ВВСТ.

Пусть имеется m предложений на новые НИР по формированию элементов НТЗ для создания перспективного образца ВВСТ. Реализация результатов каждой НИР позволит обеспечить прирост эффекта перспективного образца ВВСТ на величину ΔW_i . Каждая НИР требует увеличения затрат на проект по созданию ВВСТ на величину ΔC_i . Возникает задача выбора оптимального набора НИР по формированию НТЗ для создания перспективного ВВСТ, обеспечивающего решение

прямой или обратной задачи оптимизации программно-целевого планирования [5]. При этом величина интегрального прироста эффекта образца ВВСТ от реализации определенного набора НИР не является суммой эффектов, составляющих данный набор НИР, так как прирост эффекта для каждой НИР зависит от того, какие до этого были реализованы НИР (ранее получены элементы НТЗ). Например, увеличение дальности стрельбы управляемой ракетой будет иметь больший эффект при условии обеспечения точности наведения на увеличенной дальности.



Рисунок 4 – Зависимость среднего потенциала системы вооружения от времени задержки в обновлении парка ВВСТ

Для решения этой задачи может быть использована методика, разработанная в [7]. Согласно данной методике, все предложения на новые НИР по формированию НТЗ упорядочиваются по критерию $\max_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{\Delta W_i}{\Delta C_i} \right\}$ для прямой задачи и $\min_{1 \leq i \leq m} \left\{ \frac{\Delta C_i}{\Delta W_i} \right\}$ для обратной задачи и реализуются в данной последовательности в процессе формирования НТЗ. При этом после реализации каждой НИР заново оцениваются приращения показателей эффекта ΔW_i и затрат ΔC_i . Останов процесса происходит при достижении заданных ограничений по стоимости и эффективности перспективного образца ВВСТ. Такая траектория формирования НТЗ для перспективного образца ВВСТ обеспечивает минимальные затраты на его создание при требуемом эффекте или максимальный достигаемый эффект при заданных лимитах ассигнований на НТЗ.

Для доказательства оптимальности данной стратегии рассмотрим процесс выбора НИР для реализации в проекте как случайный. В прямой задаче вероятность выбора НИР определим ве-

личной $p_j = \frac{\Delta W_j}{\sum_{j=1}^m \Delta W_j}$, отражающей относительный уровень ожидаемого эффекта от реализации

данной НИР. Предположим, что стратегия, определяющая оптимальную последовательность выполнения НИР по формированию НТЗ для проекта, имеет нумерацию $I = \{1, 2, \dots, m\}$. Найдем средние затраты на формирование НТЗ при данной стратегии:

$$\bar{C}(I) = C_0 + p_1 \Delta C_1 + (1 - p_1) p_2 (\Delta C_1 + \Delta C_2) + \dots + (1 - p_1) (1 - p_2) \dots p_m (\Delta C_1 + \Delta C_2 + \dots + \Delta C_m).$$

Поменяем в оптимальной стратегии местами номера вариантов 1 и 2. Новая стратегия $I = \{2, 1, \dots, m\}$ уже не будет оптимальной.

Для оптимальной стратегии средние затраты должны быть минимальны, т. е. $\bar{C}(I^*) \leq \bar{C}(I)$, откуда получаем соотношение:

$$p_2 \Delta C_1 \leq p_1 \Delta C_2 \text{ или } \frac{\Delta W_1}{\Delta C_1} \geq \frac{\Delta W_2}{\Delta C_2}.$$

Проведя различные перестановки номеров различных вариантов и оценивая получаемые затраты для заданного уровня ожидаемого эффекта \bar{W} , получаем следующую стратегию формирования НТЗ:

$$\frac{\Delta W_1}{\Delta C_1} \geq \frac{\Delta W_2}{\Delta C_2} \geq \dots \geq \frac{\Delta W_m}{\Delta C_m}. \quad (5)$$

В обратной задаче вероятность выбора НИР определим величиной, $p_j = \frac{\Delta C_j}{\sum_{j=1}^m \Delta C_j}$, характеризующей относительный прирост затрат на реализацию проекта.

Найдем среднюю величину прироста эффекта перспективного образца ВВСТ за счет реализации оптимальной стратегии $I^* = \{1, 2, \dots, m\}$:

$$\bar{W}(I^*) = W_0 + p_1 \Delta W_1 + (1-p_1)p_2(\Delta W_1 + \Delta W_2) + \dots + (1-p_1)(1-p_2)\dots p_m(\Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_m)$$

и неоптимальной стратегии $I = \{2, 1, \dots, m\}$:

$$\bar{W}(I) = W_0 + p_2 \Delta W_2 + (1-p_2)p_1(\Delta W_2 + \Delta W_1) + \dots + (1-p_2)(1-p_1)\dots p_m(\Delta W_2 + \Delta W_1 + \dots + \Delta W_m).$$

Для оптимальной стратегии $\bar{W}(I^*) \geq \bar{W}(I)$, откуда следует $\frac{\Delta C_1}{\Delta W_1} \geq \frac{\Delta C_2}{\Delta W_2}$.

В результате получаем оптимальную стратегию реализации НИР в обратной задаче оптимизации:

$$\frac{\Delta C_1}{\Delta W_1} \geq \frac{\Delta C_2}{\Delta W_2} \geq \dots \geq \frac{\Delta C_m}{\Delta W_m}. \quad (6)$$

Останов процесса формирования НТЗ для образца ВВСТ осуществляется при достижении либо требуемого эффекта \bar{W} , либо заданных затрат ресурсов \bar{C} .

В силу выпуклости оптимальной траектории развития F НТЗ для образца ВВСТ решения прямой и обратной задачи при согласованных исходных данных совпадают:

$$\bar{W} = F(\bar{C}); \quad \bar{C} = F^{-1}(\bar{W}).$$

На рисунке 5 показана оптимальная (вариант 1) и неоптимальная (вариант 2) траектории развития образца ВВСТ в зависимости от последовательности реализации НТЗ в рамках НИОКР.

Продемонстрируем решение задачи выбора оптимального набора НИР по формированию НТЗ на примере создания перспективной крылатой ракеты.

Пусть имеется 7 предложений на новые НИР по формированию элементов НТЗ (головки самонаведения (ГСН), навигационной аппаратуры (НА), двигателя (Д), боевой части (БЧ)). Ожидаемый прирост эффекта от реализации их результатов в перспективной крылатой ракете и затраты на НИР приведены в таблице 2.

Лимит ассигнований на формирование НТЗ составляет 8 условных единиц.

Находим отношение эффекта к приросту затрат для каждой НИР $\left(\frac{\Delta W_j}{\Delta C_j}\right)$ (последний столбец таблицы 2) и выбираем НИР с наибольшим значением. В данном случае это строка 4 «НИР по НА-2». Лимит ассигнований сократился при этом на 2 усл. ед. и стал равен 6 усл. ед.

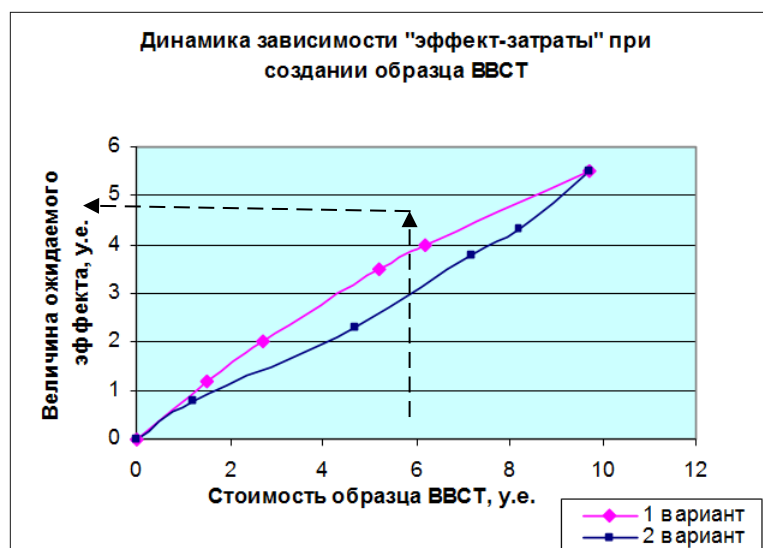


Рисунок 5 – Динамика зависимости «эффект – затраты» при создании образца ВВСТ

Таблица 2 – Ожидаемый прирост эффекта от реализации их результатов в перспективной крылатой ракете и затраты на НИР для различных предложений на новые НИР

№ п/п	Наименование НИР	ΔC_i , усл. ед.	ΔW_i	$\frac{\Delta W_i}{\Delta C_i}$
1	НИР по ГСН -1	2	0,1	0,05
2	НИР по ГСН -2	2	0,15	0,08
3	НИР по НА -1	3	0,2	0,06
4	НИР по НА -2	2	0,25	0,13
5	НИР по Д-1	3	0,2	0,06
6	НИР по БЧ	1	0,05	0,05
7	НИР по Д-2	4	0,4	0,1

Далее переходим на следующую итерацию и выполняем пересчет ΔW_i и $\frac{\Delta W_i}{\Delta C_i}$. Результаты пересчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты пересчета показателей для второй итерации

№ п/п	Наименование НИР	ΔC_i , усл. ед.	ΔW_i	$\frac{\Delta W_i}{\Delta C_i}$
1	НИР по ГСН -1	2	0,15	0,08
2	НИР по ГСН -2	2	0,2	0,1
3	НИР по НА -1	3	0,01	0,003
5	НИР по Д-1	3	0,4	0,13
6	НИР по БЧ	1	0,05	0,05
7	НИР по Д-2	4	0,5	0,12

Аналогичным образом выбираем НИР № 5. Лимит ассигнований уменьшился на 3 и составил 3 усл. ед. Результаты пересчета ΔW_i и $\frac{\Delta W_i}{\Delta C_i}$ на третьей итерации приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты пересчета показателей для третьей итерации

№ п/п	Наименование НИР	ΔC_i , усл. ед.	ΔW_i	$\frac{\Delta W_i}{\Delta C_i}$
1	НИР по ГСН -1	2	0,15	0,08
2	НИР по ГСН -2	2	0,35	0,13
3	НИР по НА -1	3	0,01	0,003
6	НИР по БЧ	1	0,1	0,1
7	НИР по Д-2	4	0,1	0,03

Выбираем НИР № 2. Лимит уменьшился на 2 и составил 1 усл. ед. На оставшийся объем ассигнований выбираем НИР № 6. В итоге в оптимальный набор НИР вошли работы с номерами: 4, 5, 2, 6.

В дальнейшем постановку и способ решения данной задачи планируется усовершенствовать в следующих направлениях:

учесть возможности использования элементов НТЗ для различных перспективных образцов (видов образцов) ВВСТ;

учесть в процессе решения задачи возможности поступления новых предложений в НИР.

Аналогичный подход может быть использован и при оценке трансферта военных технологий в продукцию гражданского назначения (ПГН). Не каждая военная технология может быть реализована в ПГН в силу определенных ограничений (по уровню закрытости, элементной базе, возможности и стоимости серийного производства). Поэтому выбор военных технологий для трансферта в ПГН должен учитывать как прирост функционального эффекта образцов гражданской продукции, так и их стоимость.

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: Купол, 2009. – 624 с.
2. Кравченко А.Ю., Смирнов С.С., Реулов Р.В., Хованов Д.Г. Роль научно-технического задела в инновационных процессах создания перспективного вооружения: проблемы и пути решения // Вооружение и экономика. – 2012. – № 4 (20).
3. Смирнов С.С., Тужиков Е.З., Хованов Д.Г., Горбунов В.В. Методика комплексной оценки готовности научно-технического задела для перспективного образца вооружения, военной и специальной техники // Стратегическая стабильность. – 2013. – № 2 (63).
4. Буренок В.М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники. – М.: Граница, 2010. – 210 с.
5. Методология программно-целевого планирования развития систем вооружения на современном этапе / Под ред. В.М. Буренка. – М.: Граница, 2013. – 520 с.
6. Лавринов Г.А., Косенко А.А., Хрусталева Е.Ю. Инновационный потенциал российского оборонно-промышленного комплекса // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 211.
7. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники: В сб. «Методология программно-целевого планирования развития систем вооружения на современном этапе». – М.: Граница, 2013. – 520 с.

И.Б. Бобров, кандидат физико-математических наук
Н.А. Борщевская, кандидат физико-математических наук
И.В. Дьяконов
И.В. Кондратьев
Е.В. Ковлаков
С.П. Кулик, доктор физико-математических наук, профессор
С.С. Страупе, кандидат физико-математических наук
Г.И. Стручалин
Н.Н. Сысоев, доктор физико-математических наук, профессор

Квантовая обработка информации: фундаментальные и прикладные аспекты

Краткий обзор основных результатов фундаментальных и прикладных исследований в области квантовых технологий, относящиеся к квантовым вычислениям/моделированию и квантовым коммуникациям, в частности: разработка и создание автоматизированных (без участия оператора) и регенеративных систем квантовой связи на основе волоконно-оптических линий связи и атмосферных каналов с наивысшей степенью защищенности, создание системы мультиплексирования для квантовых каналов связи, изучение физических процессов в сложных квантовых системах, разработка компонентной базы для квантовых компьютеров.

(Окончание. Начало статьи – в предыдущем выпуске журнала)

5. Изучение физических процессов в сложных квантовых системах.

Цель этих исследований – разработка физических основ и технологий генерации неклассических состояний, а также диагностическое сопровождение процессов, происходящих в квантовых системах для задач квантовой связи и квантовых вычислений.

Одной из задач, проводимых в этом разделе исследований, является разработка нового протокола адаптивной квантовой томографии состояний высокоразмерных систем. К его достоинствам относится вычислительная простота нахождения следующего оптимального измерения, а также использование только факторизованных измерений (то есть измерений, чей оператор представим в виде тензорного произведения операторов измерений над подсистемами), что предпочтительно при экспериментальной реализации. Ниже приводится описание последних разработок и проведенных исследований в области пространственных преобразователей мод на основе оптических чипов: квантовая и классическая реконструкция матриц преобразования.

5.1. Теория

Основная часть результатов получена для случая двухкомпонентных систем размерности $D = \sqrt{D} \times \sqrt{D}$. Однако протокол может быть легко обобщен для систем размерности $D = d_1 \cdot \dots \cdot d_l$, состоящих из $l > 2$ компонент. Также сформулированы необходимые и достаточные условия на любой протокол томографии, при выполнении которых асимптотическая зависимость ошибки

восстановления от числа зарегистрированных отсчетов N ведет себя как $O(1/N)$, что является наилучшей границей. Эти условия также получены для произвольного разбиения исходной системы на компоненты. Работа протокола протестирована в ходе численных симуляций для систем размерности 9 и 36. Выполнен эксперимент по томографии пространственных состояний пар фотонов, рожденных в процессе спонтанного параметрического рассеяния. Число выбранных пространственных мод соответствовало системам размерности 9 и 36. Продемонстрирована лучшая точность восстановления состояния по сравнению с неадаптивными подходами.

Под квантовой томографией состояний понимают процедуру определения неизвестного квантового состояния ρ посредством серии измерений над ансамблем идентично приготовленных систем, каждая из которых находится в этом неизвестном состоянии. После измерения N копий состояния происходит процедура обработки полученных данных для нахождения оценки состояния $\hat{\rho}$. Одной из целей разработки протоколов томографии является повышение точности оценки при заданном N . Этого можно достичь, двигаясь по двум направлениям: во-первых, за счет оптимального выбора измерений, а во-вторых, за счет модификации алгоритма обработки данных – статистической оценки. Оба подхода дополняют друг друга и могут применяться совместно. Данная работа посвящена первому варианту. Для статистического оценивания использовался распространенный и хорошо известный метод максимального правдоподобия [24]. По сравнению с другими методами (линейная инверсия, байесовский подход) выбранная оценка представляется компромиссом между ее качеством и сложностью проводимых вычислений. Отметим, что вопрос о сложности вычислений встает особенно остро для высокоразмерных систем. Для оптимизации функции правдоподобия применялся алгоритм ускоренного проективного градиентного подъема [25].

По способу выбора измерений протоколы можно разделить на две большие группы: неадаптивные и адаптивные. В неадаптивных схемах набор измерений либо известен заранее (статические протоколы), либо выбирается случайно. Определяющим для данной группы является факт независимости последующих измерений от данных, полученных при проведении предыдущих измерений. Напротив, в адаптивных протоколах новые измерения находятся с учетом уже полученных результатов, что позволяет повысить точность искомой оценки [26]. Разработанный протокол, называемый в дальнейшем ортогональным, относится ко второй группе. Общая схема протокола содержит следующий цикл. Сначала вычисляется оценка состояния на основе результатов всех ранее проведенных измерений, а далее, используя полученную оценку, находится новое оптимальное измерение, которое затем выполняется. Такие итерации повторяются требуемое число раз. На первом шаге, когда результаты измерений отсутствуют, в качестве априорной оценки используется максимально смешанное состояние. Следует отметить, что выбор следующего измерения зависит только лишь от матрицы плотности текущей оценки истинного состояния. Метод, которым получена оценка, не важен, что ведет к гибкости протокола. Это позволяет, имея хорошую априорную оценку истинного состояния, сразу подстроить протокол под это состояние.

Сама по себе идея использования адаптивных измерений не является новой. Однако развитие квантовых технологии ведет к увеличению размерности систем, и поэтому задача томографии высокоразмерных систем становится все более востребованной. Одной из проблем высокоразмерной адаптивной томографии является сложность вычислений, во-первых, по нахождению оценки истинного состояния, а во-вторых, по нахождению оптимальных измерений. Другая специфичная черта высоразмерных систем заключается в том, что исследуемая система часто естественным образом разделена на подсистемы меньшей размерности. Полное гильбертово пространство H состояний системы представляется в виде тензорного произведения пространств подсистем: $H = H_1 \dots \otimes H_l$. Соответственно, измерения можно разделить на два класса:

измерения общего вида и факторизованные. При факторизованных измерениях оператор измерения M записывается в виде тензорного произведения операторов измерений над подсистемами: $M = M_1 \dots \otimes M_l$. С экспериментальной и практической точки зрения желательно использовать протоколы на основе только факторизованных измерений, так как их легче реализовать.

Таким образом, к протоколу томографии высокоразмерных систем предъявляются следующие требования:

- 1) высокая точность восстановления произвольных состояний;
- 2) вычислительная простота нахождения оптимальных измерений;
- 3) использование только факторизованных измерений.

Поясним, что подразумевается под высокой точностью восстановления в пункте 1. Точность восстановления неизвестного состояния системы будем характеризовать степенью совпадения F (fidelity) между истинным состоянием ρ и его оценкой $\hat{\rho}$: $F(\rho, \hat{\rho}) = \text{Tr}^2 \sqrt{\rho^{1/2} \hat{\rho} \rho^{1/2}}$. Известна теоретическая асимптотическая граница достижимой точности, равная $1 - F = O(1/N)$ [27]. Если протокол демонстрирует сходимость $O(1/N)$, то будем говорить, что он обладает высокой точностью. Для практических применений наиболее важными являются чистые и близкие к ним состояния ρ . В то же время они сложны для томографии, так как для неадаптивных протоколов асимптотическая сходимость величины $1 - F = O(1/\sqrt{N})$, что качественно хуже, чем $O(1/N)$ для случая смешанных состояний [28]. Использование адаптивных методов с измерениями общего вида позволяет получать оптимальную сходимость $O(1/N)$ для любого входного состояния.

В некоторой степени вышеупомянутые требования противоречат друг другу. Например, вычислительно простые протоколы обычно дают менее точные оценки состояний. Далее, класс факторизованных измерений существенно более ограниченный, чем множество измерений общего вида, поэтому, вообще говоря, факторизованные протоколы заведомо не лучше протоколов общего вида. Хотя известны протоколы с факторизованными измерениями со сходимостью $O(1/N)$ для чистых состояний [26], однако вопрос о влиянии класса измерений на точность томографии оставался не ясным. Разработанный ортогональный протокол удовлетворяет указанным выше требованиям при выполнении дополнительных условий. Эти условия ограничивают точность не только рассматриваемого ортогонального протокола, но и любых протоколов томографии с факторизованными измерениями. Насколько известно авторам, подобные условия ранее не встречались в литературе.

Изучение влияния факторизованных измерений на сходимость томографии основаны на теории универсального статистического распределения величины $1 - F$ [6]. Согласно данной теории асимптотически в пределе $N \rightarrow \infty$ среднее значение $\langle 1 - F \rangle = \sum_{i=2}^{\nu+1} \frac{1}{\sigma_i}$, где σ_i – отсортированные по убыванию сингулярные числа матрицы информации Фишера для заданной функции правдоподобия (использовалась функция правдоподобия в виде произведения пуассоновских вероятностей), а $\nu = 2R_e D - R_e^2 - 1$ – число вещественных параметров, характеризующих матрицу плотности ранга R_e и размерности D . Значение R_e является параметром алгоритма томографии. Обычно ранг R_s истинного состояния априори неизвестен, поэтому распространена оценка полного ранга, для которой $R_e = D$. Если все сингулярные значения σ_i , входящие в сумму, отличны от нуля, то наблюдается оптимальная сходимость $O(1/N)$. Однако в ходе настоящей работы показано, что в случае, когда ранг истинного состояния и оценки не совпадают, $R_s < R_e$ (что типично для томографии близких к чистым состояний), то часть сингулярных значений обнуляется, если только

не использовать специально подобранные измерения. При этом формально сумма $\langle 1-F \rangle$ обращается в бесконечность, а на практике наблюдается сходимость $O(1/\sqrt{N})$.

Специальным выбором измерений можно добиться того, что сингулярные числа не обращаются в ноль, даже если $R_s < R_e$, что ведет к оптимальной сходимости $O(1/N)$. Следовательно, наличие в протоколе таких измерений, названных ортогональными, является необходимым условием для обеспечения оптимальной точности восстановления. В ходе работы установлено, что минимально достаточное число ортогональных измерений равняется $(R_e - R_s)(2D - R_e - R_s)$. Измерения названы ортогональными, потому что оператор измерения M должен быть ортогонален текущей оценке $\hat{\rho}$ в смысле скалярного произведения Гильберта – Шмидта: $Tr M \hat{\rho} = 0$. Условие ортогональности также означает, что вероятность исхода, соответствующего измерению M , равна нулю. Поиск ортогонального измерения сводится к задаче оптимизации некоторой функции, которая может быть эффективно решена любым методом локальной оптимизации (в частности использовался алгоритм Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно, BFGS).

Если наложить условие факторизуемости измерений, то оказывается, что ортогональные измерения существуют не всегда. Они существуют, если ранг состояния R не превосходит $R_{max} = d_1 + \dots + d_l - l$, где l – число компонент в системе, а d_i – размерность компоненты с номером i . Для двухкомпонентной системы $R_{max} = 2\sqrt{D} - 2$. Как результат, если используется любой протокол с факторизованными измерениями, и ранг истинного состояния R_s лежит в пределах $R_{max} < R_s < R_e$, то наблюдается медленная скорость сходимости $O(1/\sqrt{N})$. В данном случае для достижения оптимальной асимптотики $O(1/N)$ необходимы измерения общего вида.

Тем не менее результаты численных симуляций и экспериментов с пространственными состояниями пар фотонов (для размерностей $D=9$ и $D=36$) показывают, что ортогональный протокол все равно предпочтителен по сравнению со стратегией случайных измерений даже при $R_{max} < R_s < R_e$. При этом, как и ожидалось, и случайный, и ортогональный протокол демонстрируют сходимость $O(1/\sqrt{N})$, однако для ортогональных измерений зависимость $\langle 1-F \rangle$ лежит ниже. По результатам эксперимента преимущество может достигать до $\approx 2,2$ раз в зависимости от чистоты приготавливаемого состояния.

5.2. Эксперимент

На рисунке 5 показана одна из экспериментальных установок ЦКТ – квантово-томографический комплекс, на которой происходят генерация и измерение квантовых состояний света.

Апробация ортогонального протокола проводилась в эксперименте по томографии поперечных пространственных мод пар фотонов, рожденных в процессе спонтанного параметрического рассеяния (СПР). Упрощенная схема экспериментальной установки изображена на рисунке 6. Управление пространственным состоянием пар фотонов, рожденных в процессе спонтанного параметрического рассеяния в кристалле РРКТР, осуществляется посредством пространственного фазового модулятора света SLM1. Разные половины модулятора SLM2 вместе с одномодовыми волокнами SMF выполняют заданное проекционное измерение приготовленного состояния.

Данная схема типична при работе с пространственными состояниями бифотонов и основывается на интерферометре Хэнбери Брауна – Твисса с установленными в каждом плече пространственными фазовыми модуляторами света (ПФМ). Излучение диодного лазера с длиной волны 407 нм после пространственной фильтрации одномодовым оптоволоком (не показано на рисунке) направляется на ПФМ SLM1 с целью получения заданного поперечного профиля пучка в первом порядке дифракции после ПФМ. Подготовленный пучок служит накачкой нелинейного периодически поляризованного кристалла титанила фосфата калия РРКТР длиной

25 мм. Кристалл спроектирован под коллинеарный частотно-вырожденный синхронизм типа II. Линза L1 обеспечивает оптимальную фокусировку накачки в кристалл для получения одномодового режима генерации СПР [30]. Преобразованное излучение коллимируется линзой L2, и рожденная пара фотонов разделяется с помощью поляризационного светоделителя PBS. В каждом выходном канале PBS установлены две половины одного ПФМ SLM2, выполняющие заданное унитарное факторизованное преобразование состояния бифотона. Далее излучение собирается объективами в одномодовые волокна, где происходит проекционное измерение на фундаментальную (гауссовскую) пространственную моду волокна. Световоды подключены к счетным однофотонным детекторам D1 и D2. Коррелятор СС регистрирует события одновременного прихода фотонов в пределах временного окна 4 нс. Это обеспечивает учет только пар фотонов, рожденных в процессе СПР, а также фильтрацию фоновой засветки.

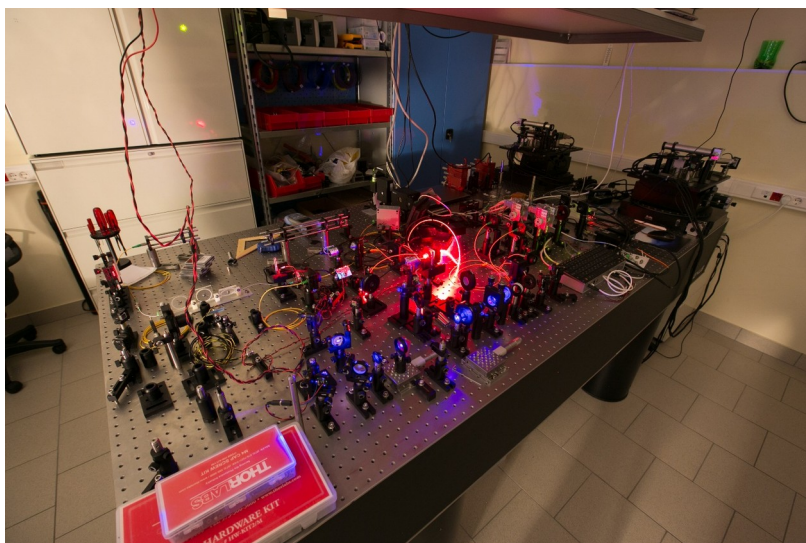


Рисунок 5 – Квантово-томографический комплекс для генерации и измерения квантовых состояний света

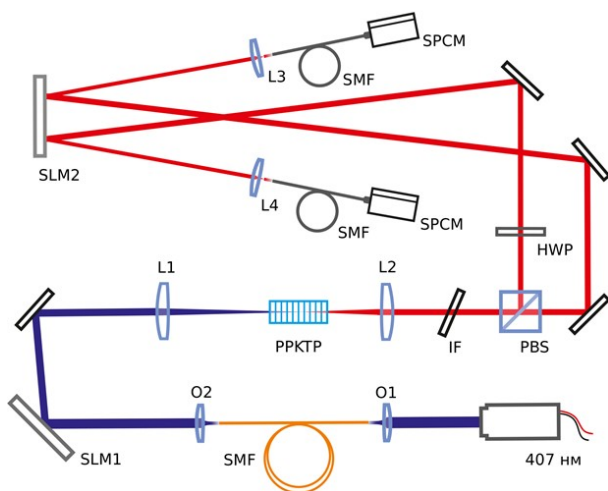


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки

Цифровая голограмма, отображаемая на SLM1, задает пространственное состояние приготавливаемых пар фотонов, а голограммы на ПФМ SLM2 определяют выполняемое измерение. Используемые ПФМ состоят из жидкокристаллической матрицы и способны модулировать только фазу отраженного от них излучения. Используя методику из работы [31], можно аналитически

рассчитать голограмму, после дифракции света на которой в первом порядке наблюдается заданное пространственное распределение, промодулированное как по фазе, так и по амплитуде. Описанная экспериментальная установка позволяет выполнять только факторизованные измерения, так как фотоны из рожденной пары разделяются светоделителем и в дальнейшем распространяются по отдельности.

В проведенных экспериментах для кодирования пространственных состояний использовались моды Эрмита-Гаусса. Амплитуда поля в перетяжке моды Эрмита-Гаусса описывается выражением:

$$HG_{nm}(x, y) \propto H_n\left(\frac{x}{w}\right) H_m\left(\frac{y}{w}\right) \exp\left(\frac{-x^2 + y^2}{2w^2}\right),$$

где n, m – неотрицательные индексы мод;

x, y – координаты в поперечной распространению пучка плоскости;

w – размер перетяжки;

H_n – полином Эрмита степени n .

Порядок моды определяется как сумма $n+m$.

Экспериментально были приготовлены два состояния:

1. $HG_{00} \otimes HG_{00}$ – факторизованное (в дальнейшем оно будет упоминаться как гауссовское состояние);

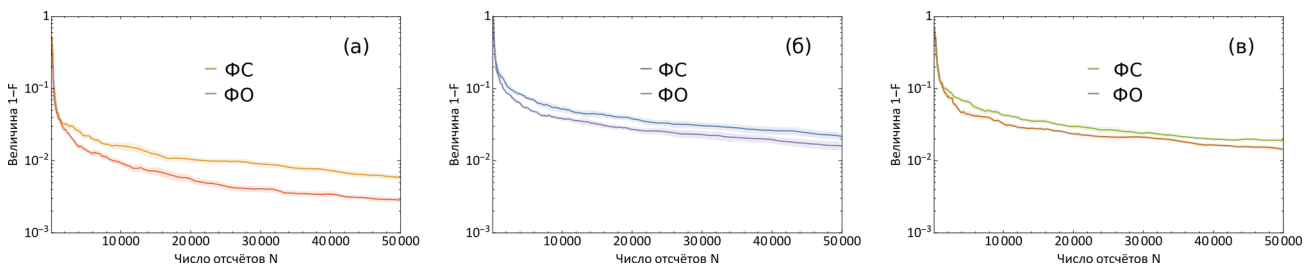
2. $(HG_{10} \otimes HG_{00} + HG_{00} \otimes HG_{10}) / \sqrt{2}$ – перепутанное (белловское состояние).

Данные состояния получаются, если на кристалл направить пучок накачки в модах HG_{00} и HG_{10} соответственно. При этом размеры перетяжек всех пучков (как накачки, так и детектирующих мод) должны быть правильно подобраны, исходя из параметров кристалла [32]. Гауссовское состояние было дополнительно пропущено через одномодовый световод, устанавливаемый между кристаллом и поляризационный светоделителем (не показан на рисунке 7), с целью увеличения его чистоты.

В данной работе рассматривается томография только конечномерных систем, поэтому формально бесконечномерное пространство пространственных состояний следует ограничить, выбрав некоторое подпространство размерности D . Выбирая моды до первого порядка включительно, а именно HG_{00} , HG_{01} , HG_{10} , и образуя их всевозможные попарные тензорные произведения (например, $HG_{00} \otimes HG_{01}$), получим подпространство размерности $D=9$. Добавив моды второго порядка HG_{11} , HG_{20} , HG_{02} , придем к подпространству увеличенной размерности $D=36$. Таким образом, в работе исследуются системы, имеющие естественное разбиение на две трехмерных и шестимерных подсистемы соответственно.

Истинное состояние в эксперименте неизвестно, поэтому точность томографии характеризуется как расстояние $1-F$ между текущей и финальной оценкой $\hat{\rho}(N_0)$, полученной после детектирования N_0 событий. Графики зависимостей этой величины от числа зарегистрированных отсчетов N изображены на рисунке 7 (а-в) для томографии гауссовского и белловского состояний, восстановленных как состояния полного ранга. Результаты усреднены по нескольким проходам томографии (от 5 до 20), и полный объем статистики в каждом из них составил $N_0 = 3 \times 10^5$. Очевидно, при приближении N к N_0 расстояние $1-F$ стремится к нулю, что не соответствует реальному улучшению точности оценки (характеризуемой как расстояние до истинного состояния). По этой причине графики приводятся только до значений $N = 5 \times 10^4$. Так же, как показывает анализ, при $N > 5 \times 10^4$ оценка в действительности перестает улучшаться из-за наличия инструментальных погрешностей.

Как следует из результатов, во всех рассмотренных случаях ортогональный протокол демонстрирует преимущество по сравнению со стратегией случайных измерений. Однако степень улучшения зависит от чистоты и размерности приготовленного состояния. Наибольший выигрыш достигается при томографии гауссовского состояния, обладающего наибольшей чистотой, в подпространстве меньшей размерности $D=9$. Для случайных измерений наблюдается сходимость $1-F \propto N^{-0,5}$, а для ортогонального протокола степень сходимости увеличивается до $1-F \propto N^{-0,7}$ (рисунок 7а). Эта разница ведет к повышению точности оценки в 2,2 раза при $N=5 \times 10^4$ (данное отношение растет с ростом N). В случае, когда гауссовское состояние восстанавливается в подпространстве более высокой размерности $D=36$, степени сходимости (наклоны зависимостей на графиках) для ортогонального протокола и случайных измерений примерно сравниваются (рисунок 7б). Тем не менее ортогональный протокол дает лучшую в 1,4 раза точность. Это отношение остается постоянным для различных N . Наименьшее преимущество наблюдается для состояния Белла, которое обладает относительно низкой чистотой. Среднее отношение расстояний $1-F$ для двух сравниваемых протоколов составило 1,25 (рисунок 7в).



ФС – факторизованные случайные измерения

ФО – ортогональный протокол с факторизованными измерениями

Заливка возле кривых соответствует одному стандартному отклонению среднего

Рисунок 7 – Зависимости величины $\langle 1-F \rangle$ от числа зарегистрированных отсчетов N , полученные в эксперименте по томографии факторизованного состояния размерности $D=9$ (а) и $D=36$ (б) и запутанного состояния размерности $D=9$ (в)

Таким образом, в части диагностического сопровождения процессов, происходящих в квантовых системах для задач квантовой связи и квантовых вычислений, получены следующие результаты:

1. Разработан новый протокол адаптивной квантовой томографии состояний высокоразмерных систем. К его достоинствам прежде всего относится вычислительная простота нахождения следующего оптимального измерения, а также использование только факторизованных измерений, т. е. измерений, чей оператор представим в виде тензорного произведения операторов измерений над подсистемами. Именно такой тип измерений достаточно просто реализуется в эксперименте.

2. Построена экспериментальная установка (рисунки 5, 6) для управления пространственными состояниями пар фотонов. Управление эффективно осуществляется при помощи пространственных модуляторов, которые формируют пространственный профиль излучения накачки, а также преобразуют многомерные пространственные состояния двухфотонного света и вместе с одномодовыми волокнами SMF выполняют заданное проекционное измерение приготовленного состояния.

6. Разработка компонентной базы для квантовых компьютеров.

Цель этих исследований – поиск и использование свойств реалистичных физических систем, лежащих в основе устройств квантовой обработки информации и квантовых вычислений/симуляций.

Основные направления исследований в этой области сводятся к исследованию физических принципов и последующей разработке прототипов цифровых и аналоговых квантовых симуляторов, реализованных на двух различных физических платформах – одиночных атомах в оптических ловушках и фотонах в линейно-оптических схемах, и объединенных общей архитектурой управляющей системы, обеспечивающей универсальность и возможность реализации широкого класса квантовых вычислительных алгоритмов и алгоритмов квантовых симуляций. В настоящий момент существует несколько конкурирующих физических моделей для построения квантовых компьютеров и квантовых симуляторов. Среди наиболее (перспективных) популярных – модели на основе сверхпроводниковых кубитов, одиночных ионов и атомов в ловушках, оптических фотонов в интегральных схемах и др. В связи с этим представляется актуальной разработка архитектуры квантового вычислительного устройства с возможностью адаптации к различным вариантам аппаратных решений на физическом уровне. Такая архитектура позволит обеспечить максимальную гибкость и независимость от конкретной используемой физической реализации кубитов. В связи с этим представляется актуальным направить усилия на разработку и создание прототипа такой архитектуры на примере конкретного квантового симулятора среднего масштаба (работающего в пространстве состояний размерности до 50 физических кубитов).

В Центре квантовых технологий внимание делается упор на развитие следующих основных взаимосвязанных направлений/технологий, позволяющих эффективно решать проблемы разработки квантовых вычислительных систем:

- технологии линейно-оптических квантовых вычислений;
- технологии эффективного управления изолированными атомными системами и создания вычислительных регистров на их основе;
- технологии цифровых и аналоговых квантовых симуляторов на основе оптических и атомных систем.

Важно отметить, что объединяющим элементом этих усилий станет универсальная архитектура управляющей системы, которая позволит исполнять один и тот же квантовый алгоритм (программный код) на квантовых вычислителях, реализованных как на атомных, так и на фотонных системах.

6.1. Фотонные системы

Линейно-оптические квантовые вычисления занимают обособленное место в ряду физических платформ для реализации универсального квантового компьютера или квантового симулятора. Во-первых, в отличие от остальных систем, квантовые состояния света слабо подвержены декогеренции и существуют эффективные методы ее подавления, во-вторых, оптические фотоны являются универсальными носителями информации, пригодными как для обработки (реализации алгоритмов вычислений), так и для передачи информации (в том числе и по квантовым каналам связи). Основными проблемами для реализации оптического квантового компьютера являются отсутствие эффективных (>99%) однофотонных источников по требованию, отсутствие эффективных однофотонных детекторов с высокой квантовой эффективностью, а также вероятностный характер двухкубитных оптических гейтов, обусловленный слабым взаимодействием одиночных фотонов друг с другом. В направлении увеличения эффективности взаимодействия фотонов в нелинейных средах, а также построения N -фотонных источников/детекторов ведутся интенсивные исследования [38-40], тем не менее до сих пор реализация квази-детерминистического квантового гейта остается нерешенной задачей. В то же время современные теоретические исследования в области построения линейно-оптического квантового компьютера [41, 42] достигли существенных результатов, позволивших на несколько порядков уменьшить объем дополнительных ресурсов (одиночных фотонов, оптических мод и однофотонных детекторов) необходимый для создания устойчивого к ошибкам полномасштабного квантового компьютера.

На сегодня существует два подхода к решению квантово-механической задачи определения собственных энергий многочастичных систем, к которым относятся сложные молекулы. Первый из них основан на квантовом алгоритме оценки фазы [3, 43], позволяющем в результате итеративной процедуры определить величины собственных энергий с химической точностью. Алгоритм задействует экспоненциально меньшее количество ресурсов и времени, нежели классические аналоги. Второй подход (квантовый вариационный алгоритм) основан на квантовом алгоритме оценки величины среднего значения гамильтониана системы [44].

Отдельно следует выделить задачи, которые можно описать гамильтонианами Изинга. Интерес к задаче нахождения основных состояний гамильтониана Изинга связан с возможностью поставить ей в соответствие различные оптимизационные задачи, встречающиеся в биологии, медицине, искусственном интеллекте и других. До недавнего времени эффективного способа решения таких проблем не существовало, поэтому интерес представляет построение физических изинговских моделей и проведение с их помощи необходимого моделирования. Недавно было предложено проводить исследования изинговских систем с использованием квантовых свойств оптического излучения и поставлены первые демонстрационные эксперименты [45-49]. Системы нейтральных атомов в оптических ловушках являются одной из наиболее перспективных систем для симуляции изинговских гамильтонианов. Недавние работы [36, 37] продемонстрировали принципиальную возможность симуляции систем из нескольких десятков спинов.

Задача о моделировании эволюции системы невзаимодействующих неразличимых бозонов под воздействием известного унитарного преобразования [50-54] является наиболее вероятным кандидатом для получения первых результатов о превосходстве квантовых вычислительных устройств над классическими. Постановка задачи не предполагает использование «перепутывающих» квантовых гейтов, что упрощает реализацию такого устройства и делает линейно-оптическую экспериментальную платформу естественным кандидатом для создания прототипа бозонного сэмплера. Использование интегрально-оптических технологий открывает дорогу к созданию линейно-оптических устройств, моделирующих квантовые унитарные преобразования размерностью, достаточной для демонстрации превосходства квантового компьютера над классическим. Серьезным препятствием на пути к реализации полномасштабного бозонного сэмплера является отсутствие эффективных источников однофотонных (или многофотонных фоковских) состояний света по требованию.

Создание прототипа линейно-оптического квантового вычислителя основано на технологии фемтосекундной лазерной печати интегрально-оптических волноводных структур в прозрачных материалах и стандартной технологии литографии с использованием полупроводниковых материалов (Si_3N_4). Фемтосекундная лазерная печать предоставляет возможность быстрого прототипирования как пассивных, так и активных интегрально-оптических устройств с низкими потерями (< 1 дБ/см). Одним из основных преимуществ данной технологии является возможность изготовления интегрально-оптических структур с 3D-топологией. Благодаря этому становится возможно создание структур с оптимальной архитектурой, что значительно упрощает дизайн сложных интегральных схем. Интегральная оптика, созданная по литографической технологии, отличается высокой степенью миниатюризации оптических элементов за счет высокого контраста показателя преломления. Основной задачей в области изготовления интегрально-оптических элементов является повышение качества осуществляемых квантовых преобразований над состояниями адаптивными методами. Параллельное развитие обеих технологий изготовления интегрально-оптических элементов позволит на начальном этапе проекта решить базовые задачи, связанные с выбором и отладкой алгоритмов оптимизации характеристик интегральной оптики, с помощью более простого метода фемтосекундной лазерной печати и подготовить к концу проекта интегральную платфор-

му на базе литографии для последующего масштабирования квантовых линейно-оптических вычислителей. Проблема приготовления квантовых состояний света будет решена с помощью источников фотонов двух типов: вероятностного, на основе эффекта спонтанного параметрического рассеяния, и детерминистического, на основе квантовых точек в полупроводниковых структурах. Ключевой задачей группы интегральной оптики сектора квантовых вычислений ЦКТ является создание адаптивной интегрально-оптической системы, обеспечивающей высокую точность квантовых преобразований, необходимых для реализации прототипа линейно-оптического квантового вычислителя. При этом прикладной интерес связан с разработкой способов изготовления крупномасштабных интегральных оптических схем, способных работать с поляризационными квантовыми состояниями фотонов.

На рисунке 8 приведен фотонный чип в сборе – с элементами термоэлектрического управления для управления фазами в интегрально-оптическом интерферометре – изготовленный по технологии фемтосекундной лазерной печати. Это устройство позволяет выполнять произвольные унитарные преобразования пространственных кубитов размерности $D=4$. Такие чипы, в частности, используются для выполнения криптографических операций, а также для изготовления элементов твердотельной квантовой памяти [56, 57].

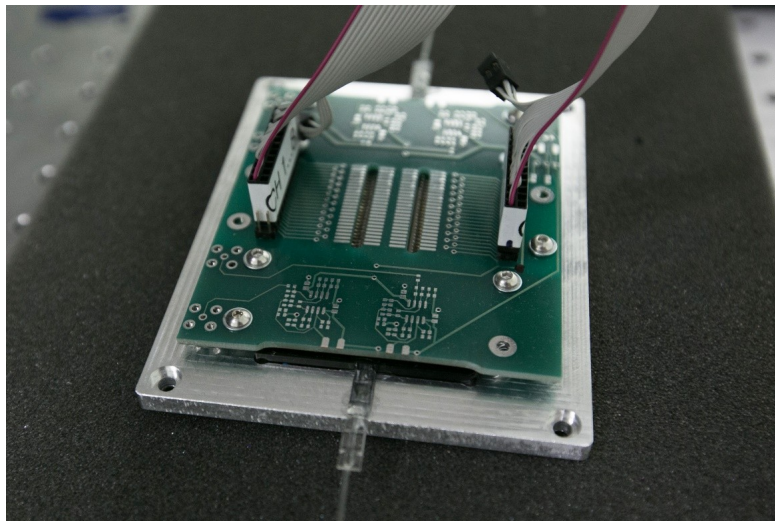


Рисунок 8 – «Фотонный чип», осуществляющий произвольные унитарные преобразования 4×4

6.2. Атомные кубиты

Технология, основанная на использовании атомных (и ионных) кубитов, обладает рядом преимуществ, которые позволяют рассчитывать на создание на ее основе практически полезных устройств в краткосрочной перспективе. В частности, атомные и ионные кубиты обладают большими временами когерентности (до сотен мс), намного превосходящими времена выполнения логических операций. Технология на основе нейтральных атомов (в отличие от ионов) также демонстрирует большой потенциал для масштабируемости: уже сейчас продемонстрированы регистры из более 50 упорядоченных атомных кубитов [33, 34], в ближайшей перспективе представляется реалистичным создание регистров с числом физических кубитов до 2000 [35]. Наиболее перспективной технологией для создания таких регистров представляется использование массивов дипольных микро-ловушек, создаваемых с помощью активных фазовых голограмм. Этот подход обладает максимальной гибкостью и предоставляет возможности для создания динамически перестраиваемых регистров с произвольной пространственной структурой, что особенно важно для реализации аналоговых симуляторов. Реализация физических кубитов на основе сверхтонких подуровней основного состояния атомов щелочных металлов помимо

больших времен когерентности обеспечивает простоту реализации однокубитных вентилях с индивидуальной адресацией, уже сейчас качество таких операций выше порога масштабируемости для большинства квантовых кодов коррекции ошибок [35]. Задачей ближайшего времени является реализация эффективных двухкубитных вентилях на основе диполь-дипольного взаимодействия атомов, возбужденных в ридберговские состояния. Теоретические оценки показывают, что этот подход позволит реализовать вентилях высокого качества, большая часть проблем сейчас сводится к решению инженерных задач и может быть преодолена в ближайшие годы. Таким образом, в этой архитектуре возможна экспериментальная реализация кодов коррекции ошибок с небольшим количеством физических кубитов на один логический кубит, в отличие от, например, сверхпроводящих и линейно-оптических архитектур, в которых масштабируемость требует реализации сложных топологических кодов с огромным оверхэдом.

Реалистичными приложениями атомных квантовых вычислителей в ближайшей перспективе являются аналоговые симуляции сложных твердотельных моделей, актуальные в материаловедческих задачах, реализация поисковых алгоритмов на основе случайных блужданий, реализация классически неразрешимых задач сэмпинга и другие. Характерный масштаб задач в несколько десятков логических кубитов уже в ближнесрочной перспективе позволяет продемонстрировать реальное преимущество в быстродействии над классическими алгоритмами. Первые прототипы таких симуляторов уже продемонстрированы [36, 37].

Основным экспериментальным полигоном для технологии холодных атомов станет квантовый регистр, содержащий до нескольких десятков атомов. Основой предлагаемого регистра будут одиночные нейтральные атомы ^{87}Rb в оптических дипольных микроловушках. Микроловушки реализуются с помощью конфокальных асферических линз большой числовой апертуры (0,5 и более), установленных внутри вакуумной камеры. Основным методом реализации массива атомов в предлагаемом проекте станет использование голографического оптического пинцета – создание массива микроловушек путем формирования заданного фазового фронта захватывающего пучка с помощью внешнего пространственного модулятора света. На рисунке 9 показана корреляционная функция интенсивности второго порядка, низкое значение которой при нулевой задержке является свидетельством захвата одиночного атома. Измерения проводились на стенде, схема которого представлена на рисунке 10.

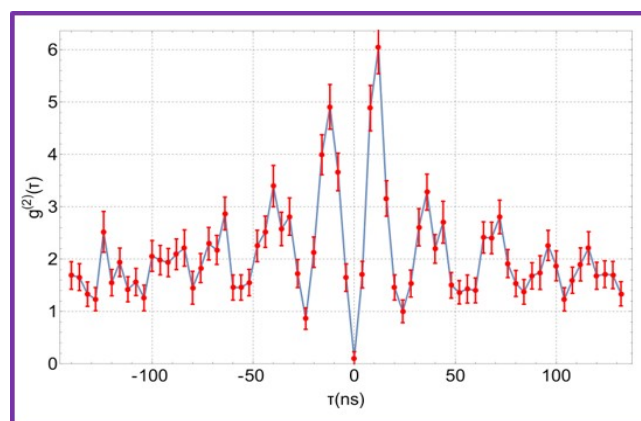


Рисунок 9 – Корреляционная функция интенсивности второго порядка для одиночного атома ^{87}Rb .

Возможность захвата нескольких десятков атомов в регулярные массивы, созданные таким методом, подтверждается недавними экспериментами конкурирующих групп, а также предварительными экспериментами, проведенными в нашей лаборатории. На рисунке 11 показана лабо-

ратория атомной оптики ЦКТ и уникальный стенд для захвата удержания и исследования массивов одиночных атомов рубидия.

Стенд по исследованию и захвату атомов рубидия в оптическую ловушку состоит из двух модулей – модуля приготовления оптического излучения для захвата/удержания одиночных атомов и модуля, на котором размещена вакуумная камера и оптическая схема, формирующая рабочие и вспомогательные пучки. Там же расположена и система регистрации света, испускаемого атомами.

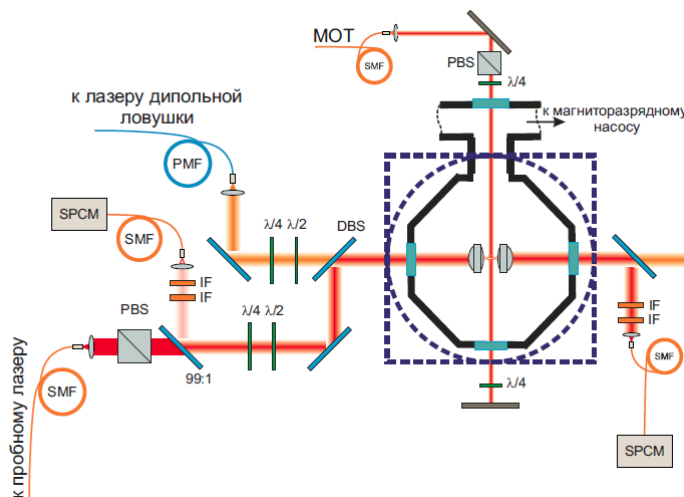


Рисунок 10 – Схема экспериментальной установки по измерению корреляционной функции интенсивности второго порядка. Атом находится в конфокальном микроскопе, помещенном внутрь вакуумной камеры. Показаны управляющие и пробные лазеры; SMF (PMF) – одномодовое волокно (сохраняющее поляризацию) для подвода/сбора излучения; DBS – дирирующее зеркало; SPCM – однофотонные модули – счетчики фотонов; IF – интерференционные фильтры; $\lambda/2$ и $\lambda/4$ – полу- и четвертьволновые пластинки для управления поляризации.

Ключевой задачей, которую потребуется решить станет реализация в таком регистре одно- и двухкубитных вентилях с достаточно низким уровнем ошибок. Следует подчеркнуть, что для получения результатов в регистрах промежуточного масштаба, рассматриваемых в рамках предлагаемого проекта, необязательно достижение сверхвысокой точности выполнения логических операций, а уровни ошибок в единицы процентов представляются вполне достижимыми для сегодняшнего уровня развития экспериментальной техники. В отдельности практически все ключевые элементы разрабатываемого регистра уже продемонстрированы в экспериментальных работах различных групп. Основной научно-технической задачей группы атомной оптики ЦКТ будет объединение и доработка существующих решений для обеспечения масштабируемости разрабатываемого регистра с пространством квантовых состояний размерности до 50 физических кубитов.

Технология голографического пинцета позволяет создавать регулярные массивы из большого (несколько десятков) числа нейтральных атомов (рисунок 12). Захватывающий потенциал формируется в областях большой интенсивности лазерного излучения, отстроенного в красную область от атомного перехода. Формирование заданного потенциала производится с помощью цифровых голограмм, формирующих требуемое распределение интенсивности в фокальной плоскости фокусирующей асферической линзы. Голограммы отображаются с помощью жидкокристаллического фазового пространственного модулятора света. Для захвата рубидия используется излучение на длине волны 830-850 нм, что является разумным компромиссом между противоречивыми требованиями: уменьшением необходимой для формирования ловушки мощности (уменьшается с

уменьшением отстройки от резонанса) и уменьшением вероятности рассеяния фотонов из пучка ловушки (уменьшается при увеличении отстройки). Мощность, необходимая для формирования потенциала, глубиной 1 мК, составляет ~2 мВт на длине волны 830 нм, таким образом разумная мощность в несколько сотен мВт, достижимая с помощью коммерчески доступных диодных лазеров позволит создать массив ловушек из ~100 узлов (рисунок 12б).

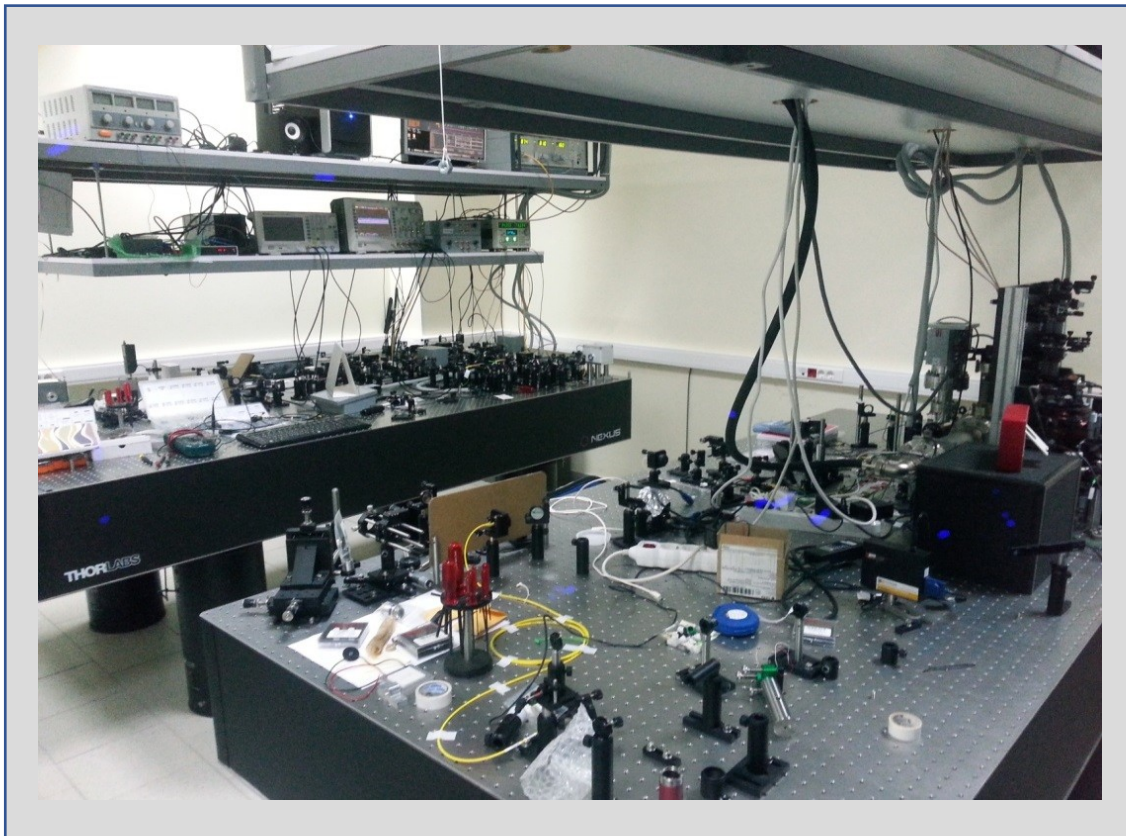


Рисунок 11 – Стенд по исследованию и захвату атомов рубидия в оптическую ловушку

На рисунке 12а показана матрицы из 9 и 25 атомов рубидия, захваченных в оптическую ловушку. На рисунке отчетливо видно пространственное распределение излучения, испущенного ловушкой, которое локализовано в узлах матрицы. Неоднородность распределения интенсивности обусловлена неоднородностью поперечного профиля пучка, осуществляющего захват атомов. Рисунок 12б демонстрирует маску, созданную голографической ловушкой и состоящей из 400 узлов.

В настоящий момент существует два основных метода реализации двухкубитных вентилей для нейтральных атомов. Первый вариант использует диполь-дипольное взаимодействие атомов в высоковозбужденных ридберговских состояниях, второй основан на адиабатическом сближении удерживающих атомы микроловушек и взаимодействии атомов внутри одного узла. Оба типа вентилей требуют по возможности меньшей энергии теплового движения атома в ловушке: неоднородные энергетические сдвиги логических и ридберговских уровней ухудшают качество ридберговских вентилей, а вентили столкновительного типа вообще требуют для своей работы охлаждения атомов до основного колебательного состояния.

Поэтому одной из первоочередных задач группы будет реализация методов рамановского охлаждения атомов в массиве ловушек до основного колебательного состояния. Для одиночных дипольных ловушек такое охлаждение недавно продемонстрировано экспериментально, однако в больших массивах экспериментальные работы еще только предстоят. Мы планируем параллельную разработку вентилей обоих типов, т. е. одновременно с работами по рамановскому

охлаждению будет вестись разработка лазерной системы для двухфотонного возбуждения в ридберговские состояния. Рамановская система представляет собой два привязанных по фазе лазера на длине волны 780 нм, стабилизированные по частоте на переходы между подуровнями сверхтонкого расщепления D2 линии рубидия с $F=1-F'=2$ и $F=2-F'=2$ с отстройкой в несколько десятков ГГц и отстроенные от точного рамановского резонанса на частоту колебательного фонона. Эта же система будет использоваться для реализации рамановских однокубитных вентилях. Для возбуждения ридберговских состояний будут использованы стабилизированные по частоте лазеры на длинах волн 795 нм и 474 нм. Работы по ридберговским вентилям потребуют создания специализированной вакуумной камеры, в которой помимо фокусирующих линз будет установлена система электродов для компенсации статических электрических полей, приводящих к значительным сдвигам энергетических уровней ридберговских состояний.

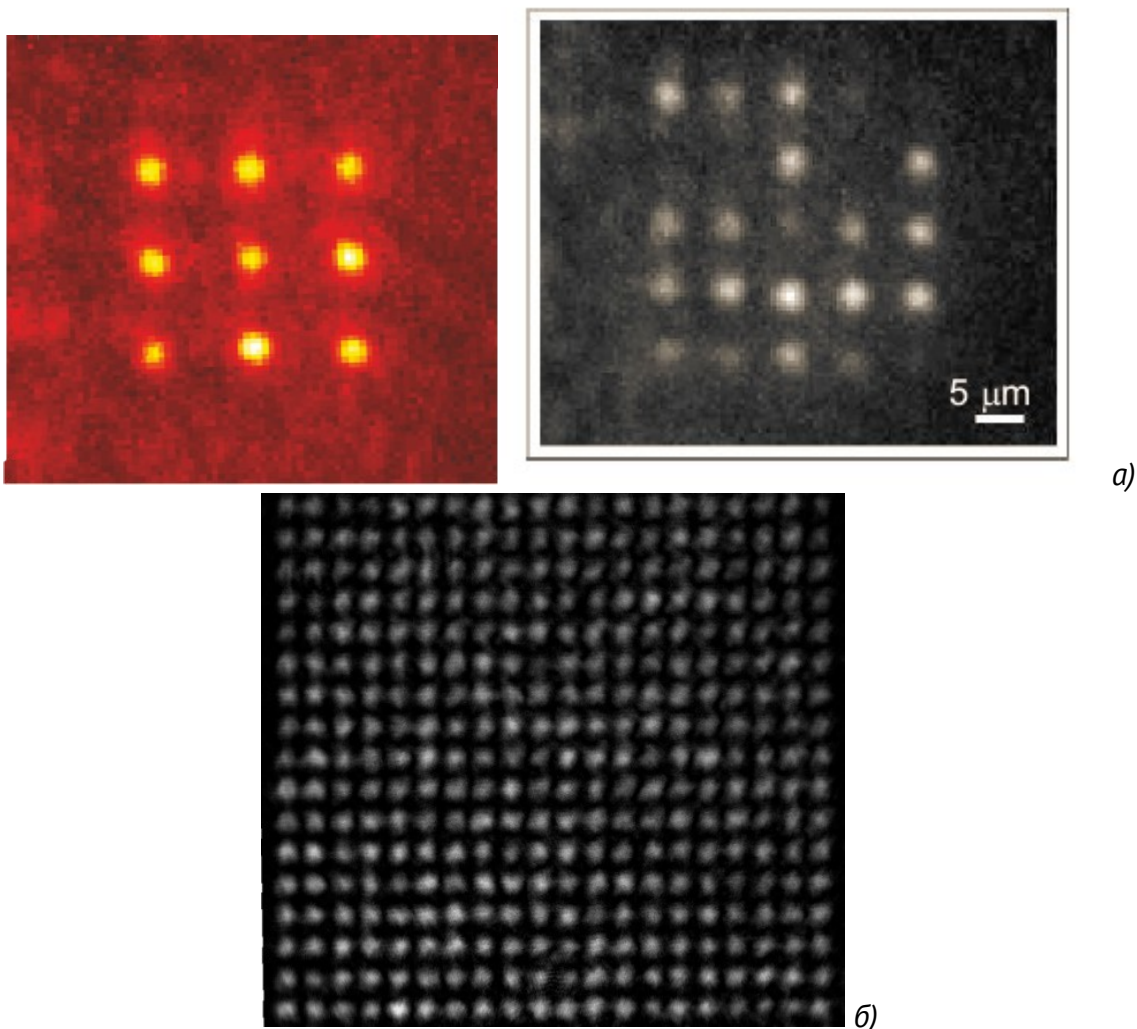


Рисунок 12 – а) Изображение массива 9 (слева) и 25 (справа) атомов рубидия, захваченных в оптическую ловушку; б) маска, формирующая массив из 400 атомов

Ключевым моментом является реализация транспорта атомов внутри регистра без нагрева (без изменения колебательного состояния). Транспорт атомов нужен как для реализации столкновительных вентилях, так и просто для создания однородного массива, т. к. изначально вероятность заполнения каждого узла в условиях столкновительной блокады примерно равна 0,5, и хоть и может быть увеличена, никогда не достигнет 1. Такие перемещения могут быть организованы с помощью дополнительного пинцета, управляемого двухосевым акустооптическим де-

флектором или же путем модификации самих голограмм. На данный момент оптимальным представляется сборка однородного массива атомов с единичным заполнением путем модификации голограмм. В таком случае реализация вентиля между соседними атомами потребует использования дополнительного адресующего пинцета.

Выводы

В статье рассмотрены основные направления исследований, проводимых в Центре квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, относящиеся к квантовым вычислениям/моделированию и квантовым коммуникациям. Представлены полученные результаты, в частности:

- разработка и создание автоматизированных (без участия оператора) и регенеративных систем квантовой связи на основе волоконно-оптических линий связи и атмосферных каналов с наивысшей степенью защищенности;
- создание системы мультиплексирования для квантовых каналов связи;
- изучение физических процессов в сложных квантовых системах;
- разработка компонентной базы для квантовых компьютеров.

Список использованных источников

1. Feynman R. Simulating Physics with Computers // *Int. J. Theor. Phys.* 21, 467 (1982).
2. Lloyd S. Universal Quantum Simulators // *Science*, 273(5278), 1073 (1996).
3. Lanyon B.P., Whitfield J.D., Gillett G.G., Goggin M.E., Almeida M.P., Kassal I., Biamonte J.D., Mohseni M., Powell B.J., Barbieri M., Aspuru-Guzik A., White A.G. Towards quantum chemistry on a quantum computer // *Nat. Chem.* 2, 106 (2010).
4. Jiangfeng Du, Nanyang Xu, Xinhua Peng, Pengfei Wang, Sanfeng Wu, Dawei Lu. NMR Implementation of a Molecular Hydrogen Quantum Simulation with Adiabatic State Preparation // *Phys. Rev. Lett.* 104, 030502 (2010).
5. Bloch I., Dalibard J., Nascimbene S. Quantum simulations with ultracold quantum gases // *Nature Phys.* 8, 267–276 (2012).
6. Lanyon B.P., Hempel C., Nigg D., Müller M., Gerritsma R., Zähringer F., Schindler P., Barreiro J.T., Rambach M., Kirchmair G., Hennrich M., Zoller P., Blatt R., Roos C.F. Universal digital quantum simulation with trapped ions // *Science*, 334(6052), 57 (2011).
7. Kandala A., Mezzacapo A., Temme K., Takita M., Brink M., Chow J.M., Gambetta J.M. Hardware-efficient variational quantum eigensolver for small molecules and quantum magnets // *Nat. Lett.* 549, 242 (2017).
8. DiVincenzo D.P. Quantum Computation // *Science*, 270(5234), 255 (1995).
9. DiVincenzo D.P., Bacon D., Kempe J., Burkard G., Whaley K.B. Universal quantum computation with the exchange interaction // *Nature* 408, 339 (2000).
10. Briegel H.J., Browne D.E., Dür W., Raussendorf R., Van den Nest M. Measurement-based quantum computation // *Nat. Phys.* 5, 19-26 (2009).
11. O'Brien J.L., Pryde G.J., White A.G., Ralph T.C., Branning D. Demonstration of an all-optical quantum controlled-NOT gate // *Nature* 426, 264 (2003).
12. Martin-Lopez E., Laing A., Lawson T., Alvarez R., Zhou Xiao-Qi, O'Brien J.L. Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using qubit recycling // *Nat. Photon.* 6, 773 (2012).
13. Harris N.C., Bunandar D., Pant M., Steinbrecher G.R., Mower J., Prabhu M., Baehr-Jones T., Hochberg M., Englund D. Large-scale quantum photonic circuits in silicon // *Nanophotonics* 5(3), 456 (2016).

14. Ballance C.J., Harty T.P., Linke N.M., Sepiol M.A., Lucas D.M. High-Fidelity Quantum Logic Gates Using Trapped-Ion Hyperfine Qubits // *Phys. Rev. Lett.* 117, 060504 (2016).
15. Debnath S., Linke N.M., Figgatt C., Landsman K.A., Wright K., Monroe C. Demonstration of a small programmable quantum computer with atomic qubits // *Nature* 536, 63 (2016).
16. Hanneke D., Home J.P., Jost J.D., Amini J.M., Leibfried D., Wineland D.J. Realization of a programmable two-qubit quantum processor // *Nat. Phys.* 6, 13 (2010).
17. Mariani M., Wang H., Yamamoto T., Neeley M., Bialczak R.C., Chen Y., Lenander M., Lucero E., O'Connell A.D., Sank D., Weides M., Wenner J., Yin Y., Zhao J., Korotkov A.N., Cleland A.N., Martinis J.M. Implementing the quantum von Neumann architecture with superconducting circuits // *Science* 334(6052), 61 (2011).
18. Xing Rong, Jianpei Geng, Fazhan Shi, Ying Liu, Kebiao Xu, Wenchao Ma, Fei Kong, Zhen Jiang, Yang Wu, Jiangfeng Du. Experimental fault-tolerant universal quantum gates with solid-state spins under ambient conditions // *Nature Commun.* 6, 8748 (2015).
19. Молотков С.Н. Релятивистская квантовая криптография на «остановленных» фотонах // *Письма в ЖЭТФ*, т. 76, выпуск 1, 79 (2002).
20. Молотков С.Н. Релятивистская квантовая криптография для открытого пространства без синхронизации часов на приемной и передающей стороне // *Письма в ЖЭТФ*, т. 94, выпуск 6, 504 (2011).
21. Молотков С.Н. О стойкости релятивистской квантовой криптографии в открытом пространстве при конечных ресурсах // *Письма в ЖЭТФ*, т. 96, выпуск 5, 374 (2012).
22. Radchenko I.V., Kravtsov K.S., Molotkov S.N., Kulik S. Relativistic quantum cryptography. Relativistic quantum cryptography // *Laser Phys. Lett.*, 11, 065203 (2014).
23. Kravtsov K., Radchenko I., Kulik S., Molotkov S. Relativistic quantum key distribution system with one-way quantum communication // *Scientific Reports* volume 8, 6102 (2018).
24. Řeháček J., Hradil Z., Knill E., Lvovsky A.I. Diluted maximum-likelihood algorithm for quantum tomography // *Phys. Rev. A.* – 2007. – Vol. 75. – P. 042108.
25. Shang J., Zhang Z., Hui Khoon Ng. Superfast maximum-likelihood reconstruction for quantum tomography // *Phys. Rev. A.* – 2017. – Vol. 95 – P. 062336.
26. Struchalin G.I., Pogorelov I.A., Straupe S.S. Experimental adaptive quantum tomography of two-qubit states // *Phys. Rev. A.* – 2016. – Vol. 93, no. 1. – P. 012103.
27. Gill R.D., Massar S. State estimation for large ensembles // *Phys. Rev. A.* – 2000. – Vol. 61. – P. 042312.
28. Mahler D.H., Rozema L.A., Darabi A. Adaptive Quantum State Tomography Improves Accuracy Quadratically // *Phys. Rev. Lett.* – 2013. – Vol. 18. – P. 183601
29. Богданов Ю.И. Унифицированный метод статистического восстановления квантовых состояний, основанный на процедуре очищения // *ЖЭТФ.* – 2009. – Т. 135. – С. 1068.
30. Kovlakov E.V., Bobrov I.B., Straupe S.S., Kulik S.P. Spatial Bell-State Generation without Transverse Mode Subspace Postselection // *Phys. Rev. Lett.* – 2017. – Jan. – Vol. 118. – P. 030503.
31. Bolduc E., Bent N., Santamato E. Exact solution to simultaneous intensity and phase encryption with a single phase-only hologram // *Opt. Lett.* – 2013. – Sep. – Vol. 38, no. 18. – P. 3546-3549.
32. Walborn S.P., Pimentel A.H. Generalized Hermite-Gauss decomposition of the two-photon state produced by spontaneous parametric down conversion // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* – 2012. – Vol. 45, no. 16. – P. 165502.
33. Barredo D., de Léséleuc S., Lienhard V., Lahayette T., Browaeys A. An atom-by-atom assembler of defect-free arbitrary two-dimensional atomic arrays // *Science* 354(6315), 1021 (2016).

34. Endres M., Bernien H., Keesling A., Levine H., Anschuetz E.R., Krajenbrink A., Senko C., Vuletić V., Greiner M., Lukin M.D. Atom-by-atom assembly of defect-free one-dimensional cold atom arrays // *Science* 354(6315), 1024 (2016).
35. Saffman M.J. Quantum computing with atomic qubits and Rydberg interactions: progress and challenges // *Phys. B* 49, 202001 (2016).
36. Labuhn H., Barredo D., Ravets S., de Léséleuc S., Macrì T., Lahaye T., Browaeys A. Tunable two-dimensional arrays of single Rydberg atoms for realizing quantum Ising models // *Nature* 534, 667 (2016).
37. Bernien H., Schwartz S., Keesling A., Levine H., Omran A., Pichler H., Soonwon Choi, Zibrov A.S., Endres M., Greiner M., Vuletić V., Lukin M.D. Probing many-body dynamics on a 51-atom quantum simulator // *Nature* 551, 579-584 (2017).
38. Fushman I., Englund D., Faraon A., Stoltz N., Petroff P., Vučković J. Controlled Phase Shifts with a Single Quantum Dot // *Science* 320(5877), 769 (2008).
39. Peyronel T., Firstenberg O., Qi-Yu Liang, Hofferberth S., Gorshkov A.V., Pohl T., Lukin M.D., Vuletić V. Quantum nonlinear optics with single photons enabled by strongly interacting atoms // *Nature* 488, 57 (2012).
40. Gullans M., Chang D.E., Koppens F.H.L., García de Abajo F.J., Lukin M.D. Single-Photon Non-linear Optics with Graphene Plasmons // *Phys. Rev. Lett.* 111, 247401 (2013).
41. Gimeno-Segovia M., Shadbolt P., Browne D.E., Rudolph T. From Three-Photon Greenberger-Horne-Zeilinger States to Ballistic Universal Quantum Computation // *Phys Rev. Lett.* 115, 020502 (2014).
42. Li Y., Humphreys P.C., Mendoza G.J., Benjamin S.C. Resource Costs for Fault-Tolerant Linear Optical Quantum Computing // *Phys. Rev. X* 5, 041007 (2015).
43. Abrams D.S., Lloyd S. Quantum Algorithm Providing Exponential Speed Increase for Finding Eigenvalues and Eigenvectors // *Phys. Rev. Lett.* 83, 5162 (1999).
44. Peruzzo A., McClean J., Shadbolt P., Man-Hong Yung, Xiao-Qi Zhou, Love P.J., Aspuru-Guzik A., O'Brien J.L. A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor // *Nat. Comm.* 5, 4213 (2014).
45. Xiao-song Ma, Dakić B., Naylor W., Zeilinger A., Walther P. Quantum simulation of the wavefunction to probe frustrated Heisenberg spin systems // *Nature Physics.* 7, 399 (2011).
46. Xiao-song Ma, Dakić B., Kropatschek S., Naylor W., Yang-hao Chan, Zhe-xuan Gong, Lu-ming Duan, Zeilinger A., Walther P. Towards photonic quantum simulation of ground states of frustrated Heisenberg spin systems // *Nat. Photon.* 7, 399 (2011).
47. Barz S., Dakić B., Lipp Y.O., Verstraete F., Whitfield J.D., Walther P. Linear-Optical Generation of Eigenstates of the Two-Site XY Model // *Physical Review X*, 5, ARTN 021010 (2015).
48. Marandi A., Zhe Wang, Takata K., Byer R.L., Yamamoto Y. Network of time-multiplexed optical parametric oscillators as a coherent Ising machine // *Nat. Photon.* 8, 937-942 (2014).
49. Aaronson S., Arkhipov A. The Computational Complexity of Linear Optics // *arXiv:1011.3245v1* (2010).
50. Tillmann M., Dakić B., Heilmann R., Nolte S., Szameit A., Walther P. Experimental Boson Sampling // *Nat. Photon.* 7, 540 (2013).
51. Crespi A., Osellame R., Ramponi R., Brod D.J., Galvão E.F., Spagnolo N., Vitelli C., Maiorino E., Mataloni P., Sciarrino F. Integrated multimode interferometers with arbitrary designs for photonic boson sampling // *Nat. Photon.* 7, 545 (2013).

52. Spring J.B., Metcalf B.J., Humphreys P.C., Kolthammer W.S., Jin X.M., Barbieri M., Datta A., Thomas-Peter N., Langford N.K., Kundys D., Gates J.C., Smith B.J., Smith P.G., Walmsley I.A. Boson sampling on a photonic chip // *Science* 339(6121), 798 (2013).
53. Broome M.A., Fedrizzi A., Rahimi-Keshari S., Dove J., Aaronson S., Ralph T.C., White A.G., Photonic boson sampling in a tunable circuit // *Science* 339(6121), 794 (2013).
54. Spagnolo N., Vitelli C., Bentivegna M., Brod D.J., Crespi A., Flamini F., Giacomini S., Milani G., Ramponi R., Mataloni P., Osellame R., Galvao E.F., Sciarrino F. Efficient experimental validation of photonic boson sampling against the uniform distribution // *Nat. Photon.* 8, 615 (2014).
55. Dyakonov I.V., Saygin M.Yu., Kondratyev I.V., Kalinkin A.A., Straupe S.S., Kulik S.P. Laser-written polarizing directional coupler with reduced interaction length // *Optics Letters*, Vol 42, № 20, 4231-4234 (2017).
56. Minnegaliev M.M., Dyakonov I.V., Gerasimov K.I., Kalinkin A.A., Kulik S.P., Moiseev S.A., Saygin M.Yu., Urmancheev R.V. Observation and investigation of narrow optical transitions of 167Er^{3+} ions in femtosecond laser printed waveguides in 7LiYF_4 crystal // *Laser Physics Letters*, 15, 045207 (6pp) (2018).
57. Skryabin N., Kalinkin A., Dyakonov I., Kulik S. Femtosecond laser written depressed-cladding waveguide 1×2 , 2×2 and 3×3 directional couplers in $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$ crystal // *Micromachines D: Materials and Processing*. 11, 1, 1-12, (2020).

В.Ф. Волков, доктор военных наук,
профессор
А.С. Пономарев

Применение метода стохастического динамического программирования при оценивании риска невыполнения программы разработки новых типов вооружения в заданный срок

Предложен подход к обеспечению гарантированного выполнения программы разработки новых типов вооружения в заданный срок. Разработана методика минимизации издержек, связанных с привлечением дополнительных инвестиций в ходе контроля реализации программы разработки новых типов вооружения. Алгоритм оптимальной корректировки процесса создания нового типа вооружения основан на использовании метода стохастического динамического программирования.

Введение

Обоснование основных организационных и системотехнических решений при проектировании новых типов вооружения и военной техники (ВВТ) представляет собой сложный итеративный процесс, состоящий из ряда последовательных циклов. В первом цикле производится оценка целесообразности создания нового типа ВВТ, а также предварительный выбор его облика. Во втором – предварительная оценка вариантов реализации проекта ВВТ, причем если в первом цикле определяется полная совокупность целей создания нового типа ВВТ, то во втором цикле реализация этих целей связывается с конкретными вариантами ВВТ, которые, как правило, обуславливают необходимость внесения определенных изменений в формулировку целей и, соответственно, уточнения перечня задач для их достижения. В третьем цикле осуществляется проработка вариантов организации применения ВВТ для выбранного варианта реализации. В четвертом цикле осуществляется окончательный выбор основных конструкторских решений по образцу ВВТ, т. е. реализуются задачи технического проектирования. Пятый цикл – реализация системного подхода к созданию нового типа ВВТ в части окончательного выбора системотехнических решений по соответствующей АСУ и по обеспечивающим подсистемам. Шестой цикл – разработка конструкторской и эксплуатационной документации, а также изготовление опытного образца ВВТ. В седьмом цикле отрабатывается совокупность вопросов, связанных испытаниями и приемом нового типа ВВТ на вооружение (в эксплуатацию). Следует отметить, что в ряде источников [3-7] процесс создания представляется в более укрупненном формате.

Вследствие влияния случайных или неучтенных факторов, возникающих на самых ранних стадиях жизненного цикла и при последующем управлении созданием новых типов ВВТ, в условиях жесткого временного регламента всегда существует риск не уложиться в заданный заказчиком срок. Один из возможных подходов к расчету данного риска – последовательное уточнение значения вероятности успешного выполнения задачи создания ВВТ с учетом фактического времени, затраченного на предыдущие реализованные этапы.

1. Постановка задачи.

Обозначим:

$Z_{пл}$ – плановое значение продолжительности процесса создания нового типа ВВТ, указанное в руководящих документах;

t_i – расчетная продолжительность i -го этапа, $i=(1, N)$, т. е. $\sum_{i=1}^N t_i^{nn} = z_{nn}$.

Пусть первый этап процесса создания нового типа ВВТ был реализован за время t_1^* , причем $t_1^* > t_1^{nn}$, т. е. величина $(t_1^* - t_1^{nn})$ – это величина задержки (опоздания) и оценка продолжительности выполнения задачи создания нового типа ВВТ подлежит уточнению:

$$\hat{z}_1 = \frac{\hat{z}}{t_1} = t_1^* + \hat{t}_2 + \hat{t}_3 + \dots + \hat{t}_N.$$

Обозначим $1 - \gamma_{t_1} = R_{t_1}$ – риск невыполнения требований заказчика по созданию ВВТ в заданный срок.

Используя аппарат характеристических функций, получим выражение для вероятностной оценки риска $\gamma_{z_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(t-t_1)} du \cdot \prod_{i=2}^N e^{jux} \varphi_{t_i}(x; A_{\langle K_i \rangle}) : \varphi_{t_1} = \int_0^{z_{nn}} \varphi_{\hat{z}_1}(t) dt$.

При невыполнении неравенства $\gamma_{t_1} \geq \gamma_{dup}$, где γ_{dup} – директивное значение, на оставшихся этапах необходимо проведение дополнительных оперативных мероприятий по обеспечению гарантированного выполнения задачи ИО с требуемой вероятностью γ_{dup} в заданный срок z_{nn} . В результате этих мероприятий в конечном итоге произойдет корректировка параметров $A_{\langle K_i \rangle}$ оставшихся этапов.

Обозначим: $Y_{\langle K_2 \rangle}$ – дополнительно привлекаемые инвестиции, т. е. $A_{\langle K_2 \rangle} = A_{\langle K_2 \rangle} + Y_{\langle K_2 \rangle}$; f^2 – функция зависимости стоимости $\Delta S^{(2)}$ реконфигурации проекта от значений новых вложений, т. е. $\Delta S^{(2)} = f^{(2)}(Y_{\langle K_2 \rangle})$. В соответствии с логикой предлагаемой методики корректирующий вектор должен обеспечивать достижение уровня $\gamma_{t_1} \geq \gamma_{dup}$ (устанавливается методами «математизированного здравого смысла»).

Таким образом, требуется определить такие значения $\hat{Y}_{\langle K_v \rangle}$ вектора корректировок на каждом этапе, для которых минимизируются дополнительно привлекаемые ресурсы при ограничении на риск невыполнения задачи создания нового типа ВВТ в заданный срок.

Пусть реализовано $(v-1)$ этапов, т. е. $\hat{z}/T_{\langle v-1 \rangle}^* = z_{v-1} \sum_{i=1}^{v-1} \hat{t}_1^* + t_v + \dots + t_N$. Тогда риск несвоевременного выполнения программы создания нового типа ВВТ определится по формуле:

$$R_{T_{\langle v-1 \rangle}} = 1 - \int_0^{z_{nn}} \gamma_{\hat{z}/T_{\langle v-1 \rangle}}(t) dt, \text{ где } \gamma_{\hat{z}/T_{\langle v-1 \rangle}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(t - \sum_{i=1}^{v-1} \hat{t}_i)}.$$

Задача оптимальной реконфигурации плана создания нового типа ВВТ формулируется следующим образом. Требуется определить такие значения $\hat{Y}_{\langle K_v \rangle}$ адаптирующего вектора, для которых:

$$\Delta S(\hat{Y}_{\langle K_2 \rangle}, \dots, \hat{Y}_{\langle K_N \rangle}) = \sum \Delta S^v(\hat{Y}_{\langle K_v \rangle}) \rightarrow \min_{\{Y\}} \Delta S(\hat{Y}_{\langle K_2 \rangle}, \dots, \hat{Y}_{\langle K_N \rangle}),$$

при ограничениях на вероятности $\gamma_1^*, \gamma_2^*, \dots, \gamma_N^*$ своевременного выполнения программы, корректируемые после завершения соответствующих этапов.

Для некоторых законов распределения величин t_i и небольшого числа этапов решение может быть получено аналитически. Рассмотрим алгоритм итерационного подбора управляющих воздействий, предназначенных для минимизации возможных дополнительных инвестиций и обеспечения вероятностно-временной гарантии, на примере исполнения четырехэтапного процесса и нормального (гауссовского) распределения величин t_i .

Стандартными этапами являются следующие.

1. Формирование технического задания на разработку нового типа ВВТ (формирование концепции; научно-исследовательские работы; опытно-конструкторские работы; документальное оформление технического задания).
2. Создание технической концепции нового типа ВВТ (формирование технических предложений (аванпроекта); эскизное проектирование; техническое проектирование; изготовление макета; разработка рабочей документации).
3. Реализация технической концепции нового типа ВВТ (изготовление опытного образца; испытания опытного образца, корректировка документации; комплексные, межведомственные, летные испытания).
4. Развертывание системы (подготовка кадров; подготовка документации для серийного производства; серийное производство).

2. Параметр состояния

Пусть реализован первый этап, он продолжался t_1^* единиц времени и вероятность y_1^* оказывается меньше заданной $y_{доп}$. Стоимость дополнительных ресурсов, выделяемых и используемых на 2-м этапе, пропорционально величине «опоздания» $(t_1^* - m_1)$. Пусть после корректировки параметров $M[\hat{t}_2]$, $\sigma[\hat{t}_2]$ реализован 2-й этап и $y_1^* < y$. Тогда стоимость дополнительно используемых на третьем этапе ресурсов будет пропорциональна суммарной величине «опоздания»: $(t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2)$.

Выберем в качестве параметра состояния \hat{x} величину «опоздания». Это дискретная случайная величина, принимающая значения:

$$\begin{aligned} \hat{x}_1 &= t_1^* - m_1; \\ \hat{x}_2 &= t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2; \\ \hat{x}_3 &= t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2 + t_3^* - m_3; \\ \Delta S^{(2)} &\sim t_1^* - t_1^{nn} = t_1^* - m_1. \end{aligned}$$

3. Алгоритм динамической корректировки

Вероятность своевременного завершения программы создания нового типа ВВТ с учетом исхода t_1^* первого этапа равна:

$$y_1^* = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z^{nn} - t_1^* - m_2 - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 \sqrt{2}}} \right) + 1 \right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$, $y_1^* < y : m'_2 = m_2 + y_1$, $\sigma'_2 = \sigma_2 + y'_1$, т. е. $Y_{\langle K_2 \rangle} = \langle y_1 y'_1 \rangle^T$.

Затраты на корректировку равны $\Delta S^{(2)} = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, y'_1)$, а компоненты вектора корректировки должны удовлетворять равенству:

$$\frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z^{nn} - t_1^* - m_2 - y_1 - m_3 - m_4}{\sqrt{(\sigma_2 + y_1)^2 \sigma_3^2 + \sigma_4^2 \sqrt{2}}} \right) + 1 \right] = y, \quad y'_1 = \psi(y_1, t_1^*).$$

Пусть $t_2 = t_2^{**} = t_2^*(y_1, y'_1)$. Вероятность y_2^{**} равна:

$$y_1^* = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z^{nn} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_4^2 \sqrt{2}}} \right) + 1 \right].$$

При $y_2^{**} < y$:

$$\dot{m}_3 = m_3 + y_2, \quad \dot{\sigma}_3 = \sigma_3 + \dot{y}_2;$$

$$Y_{\langle K_3 \rangle} = \langle y_2, \dot{y}_2 \rangle^T;$$

$$\Delta \hat{S}^3(\hat{x}_2, y_2, \dot{y}_2).$$

Введем понятие «суммарного показателя затрат на корректировку», после реализации и корректировки третьего этапа он равен:

$$\hat{\eta}_{2,3}(\tilde{x}_1, y_1, \dot{y}_1, y_2, \dot{y}_2) = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, \dot{y}_1) + \Delta s^{(3)}(\hat{x}_2, y_2, \dot{y}_2),$$

компоненты y_2, \dot{y}_2 вектора корректировки на третьем этапе удовлетворяют равенству:

$$\frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z^{nn} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - y_2 - m_3 - m_4}{\sqrt{(\sigma_2 + \dot{y}_1)^2 + \sigma_4^2 \sqrt{2}}} \right) + 1 \right] = y \quad \text{или} \quad \dot{y}_2 = \psi_2(y_1, t_1^*, t_2^{**}).$$

4. Функция дополнительных затрат

Пусть имеет место отставание от планового срока отработки первого этапа, равное $x_1 = t_1^* - m_1$. Чтобы «уложиться» в заданное время Z_{nn} мы должны каким-то образом разделить «опоздание» $x_1 = t_1^* - m_1$ по оставшимся этапам. Если мы хотим компенсировать это «опоздание» x_1 на втором этапе, то, очевидно, должны проводить такую корректировку параметров распределения его продолжительности, которая уменьшит и математическое ожидание \bar{t}_2 и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\hat{t}_2}$, т. е. должно быть:

$$\bar{t}_2 = \dot{\bar{t}}_2 - \bar{t}_2 < 0,$$

$$\sigma_{\hat{t}_2} = \dot{\sigma}_{\hat{t}_2} - \sigma_{\hat{t}_2} < 0.$$

При этом очевидно, стоимость корректировки пропорциональна модулям величин $\bar{t}_2, \sigma_{\hat{t}_2}$, т. е. $\Delta s^{(2)} \sim |\Delta \bar{t}_2|$; $\Delta s^{(2)} \sim |\Delta \sigma_{\hat{t}_2}|$ по $\Delta \bar{t}_2 = y_1, \Delta \sigma_{\hat{t}_2} = \dot{y}_1$.

Можно доказать, что среднее значение суммарного показателя эффективности корректировки равно:

$$\eta_{2,3,4}(x_1, y_1, \dot{y}_1, y_2, \dot{y}_2, y_3, \dot{y}_3) = \sum_{v=1}^3 c_v^x x_v + c_v^{\Delta m} y_v^2 + c_v^{\Delta m} \dot{y}_v,$$

где $x_1 = t_1^* - m_1, \dot{y}_1 = \psi_1(y_1, t_1^*);$

$$x_2 = x_1 + y_1, \dot{y}_2 = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**});$$

$$x_3 = x_2 + y_2, \dot{y}_3 = \psi_3(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}).$$

5. Составление и решение рекуррентных функциональных уравнений

Сформулируем задачу оптимизации корректировки процесса создания нового типа ВВТ для рассматриваемого примера. Требуется определить такие значения $\tilde{y}_1, \dot{\tilde{y}}_1, \tilde{y}_2, \dot{\tilde{y}}_2, \tilde{y}_3, \dot{\tilde{y}}_3$ компонентов вектора корректировки на каждом шаге, которые дают минимум среднего суммарного показателя затрат на корректировку:

$$\eta_{2,3,4}(\tilde{y}_1, \dot{\tilde{y}}_1, \tilde{y}_2, \dot{\tilde{y}}_2, \tilde{y}_3, \dot{\tilde{y}}_3) = \min_{\{Y\}} (x_1, \tilde{y}_1, \dot{\tilde{y}}_1, \tilde{y}_2, \dot{\tilde{y}}_2, \tilde{y}_3, \dot{\tilde{y}}_3) = \mu$$

при ограничениях:

$$\dot{y}_1 = \psi_1(y_1, t_1^*);$$

$$\dot{y}_1 = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**});$$

$$\dot{y}_1 = \psi_2(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}).$$

Для отыскания решения задачи введем в рассмотрение функцию:

$$\mu_N(x) = \min_{\{Y\}} (x, y_1, y'_1, \dots, y_{N-1}, y'_{N-1}).$$

Пусть $\mu_1(x)$ – средние минимальные затраты на корректировку программы работ в одношаговой операции, начинающейся в состоянии x .

Для второго этапа (первого шага):

$$\mu_1(x) = \min_{\{y_{1y}, y'_{1y}\}} \Delta s^{(2)}(x, y_{1y}, y'_{1y}) \text{ при } y'_{1y} = \psi_1(y_{1y}, t_1^*).$$

Вторая шаговая операция: $\mu_2(x) = \min_{\{y_{2y(x)}, y'_{2y(x)}\}} [\Delta s^{(2)}(x, y_{2y}, y'_{2y})] + \mu_1(x + \underbrace{y'_{1y}}_{x_2})$.

Третья шаговая операция заключается в объединении 2-го и 3-го шагов в один шаг. Тогда, в соответствии с принципом оптимальности Беллмана[13]:

$$\mu_3(x) = \min_{\{y_{31}, y'_{31}\}} \Delta s^{(2)}(x_2, y_{31}, y'_{31}) + \mu_2(x_2), \tag{1}$$

при $y'_{3y} = \psi_1(y_{3y}, t_1^*)$.

Величина $\mu_2(x_2)$ определяется так же, как $\mu_2(x_1)$, однако на вспомогательные переменные y_{21}, y'_{21} накладывается ограничение $y'_{21} = \psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**})$, а на вспомогательные переменные y_{22}, y'_{22} , используемые для ограничения $\mu_1(x_3)$ – ограничение $y'_{22} = \psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**})$.

$$\mu_2(x_2) = \min_{\{y_{21}, y'_{21}\}} \Delta s^{(3)}(x_2, y_{21}, y'_{21}) + \mu_1(x_3), \tag{2}$$

$$y'_{21} = \psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**}), \quad x_2 = x_1 + y_{1y}.$$

$$\mu_1(x_2) = \min_{\{y_{22}, y'_{22}\}} \Delta s^{(4)}(x_3, y_{22}, y'_{22}), \tag{3}$$

$$y'_{22} = \psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}), \quad x_3 = x_2 + y_{22}.$$

Рекуррентные соответствуют ретроспективной развертке (обратному ходу) алгоритма, а соотношения (1), (2), (3) значения:

$$\tilde{y}_{3y}(x), \hat{y}_{3y}(x), \tilde{y}_{2y} = \tilde{y}_{21}, \hat{y}_{2y} = \hat{y}_{21}, \tilde{y}_{1y}(x) = y_{22}, \hat{y}_{1y} = \hat{y}_{22}$$

являются условно-оптимальными значениями компонентов вектора корректировки.

Решив последовательно функциональные уравнения (1), (2), (3), при соответствующих ограничениях, определяем минимальные средние дополнительные затраты на создание нового типа ВВТ:

$$\mu = \mu_3(x_1). \tag{4}$$

Затем, построив прямую развертку (прямой ход алгоритма), определяем оптимальные значения компонентов вектора корректировки. Оптимальная корректировка на 2-м этапе:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_1 &= \tilde{y}_3(x_1), \\ \hat{y}_1 &= \hat{y}_3(x_1). \end{aligned} \tag{5}$$

Оптимальная корректировка на 3-ем этапе:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_2 &= \tilde{y}_{2y}(x_1), \\ \hat{y}_2 &= \hat{y}_{2y}(x_1). \end{aligned} \tag{6}$$

Оптимальная корректировка на 4-м этапе:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_3 &= \tilde{y}_{1y}(x_1), \\ \hat{y}_3 &= \hat{y}_{1y}(x_1). \end{aligned} \tag{7}$$

Найденная оптимальная корректировка (5-7) является адаптивной и зависит от того, как реально развернется процесс создания нового типа ВВТ. Мы не определили жесткую «программу

корректировки», но указали для каждого этапа процесса то «управление», которым следует отвечать на любой случайный исход предыдущего этапа.

Заключение

Исторический опыт реализации крупномасштабных проектов показывает, что всегда существовал риск отклонения параметров «траектории» исполнения проектов от соответствующих программно-целевых значений. В настоящее время эта проблема обостряется в связи с проникновением цифровых технологий во все сферы, включая военное дело [17-20].

В перечень факторов, влияющих на срыв установленных сроков, могут входить недостоверность исходных данных, динамика требований сертификационных органов и т. д. Качественные атрибуты перечисленных факторов могут иметь различную природу: нечеткость количественных параметров государственной системы управления данными, неопределенность сценариев воздействий на объекты критической инфраструктуры, возможная несовместимость участвующих организаций, неучтенные особенности независимо разработанных цифровых платформ, инновационный характер создаваемой государственной облачной платформы, частичная технологическая зависимость от зарубежных поставщиков, человеческий фактор (спешка в проработке и согласовании документации, отсутствие соответствующих компетенций, объективно неизбежная системная инерция).

Разработанный методический аппарат предназначен для применения в ходе военно-научного сопровождения разработки новых типов ВВТ. Точность оценивания прироста эффективности за счет оптимизации будет определяться степенью детализации соответствующих военно-экономических моделей.

Список использованных источников

1. Селиванов В.В., Ильин Ю.Д. Методические основы формирования асимметричных ответов в военно-техническом противоборстве с высокотехнологичным противником // Военная мысль. – 2019. – № 2. – С. 5-14.
2. Литвиненко В.В., Солдатов А.И., Урюпин В.Н. Методологические аспекты модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники. Комплекс математических моделей системы показателей и критериев для решения задач модернизации // Военная мысль. – 2018. – № 11. – С. 30-39.
3. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П., Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. – М.: Машиностроение, 2010. – 368 с.
4. Алфимов С.М., Горбунов В.В., Лясковский В.Л. Методика формирования межведомственной координационной программы фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области обороны и обеспечения безопасности государства // Вооружение и экономика. – 2017. – № 1(38). – С. 35-42.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией летательных комплексов. – М.: Высшая школа, 1981. – 368 с.
6. Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами // Под ред. А.Д. Баженова, А.О. Арефьева – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
7. Волков В.Ф. Стратегическая оборонная инициатива США на рубеже 90-х годов: Учебное пособие. – СПб.: МО РФ, 1994. – 50 с.

8. Имитационная модель «Проектной войны» как формы информационного противоборства // Труды научно-практической конференции «Военно-космическая деятельность России» / Под ред. В.Е. Прохоровича. – СПб.: Левша, 1994. – С. 79-89.

9. Буравлев А.И., Гладышевский В.Л., Пьянков А.А., Существующие методы мониторинга реализации государственной программы вооружения и направления их совершенствования // Материалы Седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013)», г. Москва, 30 сентября – 2 октября 2013 г. – М.: ИПУ РАН, 2013. – Т. 2. – 445 с.

10. Саяпин О.В., Тиханычев О.В., Макарец Л.В. Об уточнении функций фонда алгоритмов и программ в интересах автоматизации проектирования АСУВ // Военная мысль. – 2018. – № 6. – С.74-80.

11. Горчица Г.И., Ищук В.А. Проблемы применения и направления развития систем моделирования в интересах сопровождения создания перспективных комплексов вооружения // Известия РАН. – 2018. – № 104. – С. 15-22.

12. Голубятников К.В. Методический подход к выбору источников информации для наполнения систем исходных данных, используемых при планировании развития системы вооружения // Вооружение и экономика. – 2018. – № 1 (43). – С. 58-65.

13. Юсупов Р.М., Лысенко И.В. Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания // Труды СПИИРАН. – 2018. – № 5(60). – С. 241-270.

14. Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Афанасьев А.С., Игнатенко В.В., Павлушкин Р.В. Информационные, информационно-энтропийные и эвентологические меры и шкалы в задачах управления рисками в процессах жизненного цикла систем оружия // Известия РАН. – 2017. – № 96. – С. 124-129.

15. Литвиненко В.В., Солдатов А.И., Урюпин В.Н. Методические вопросы формирования логических схем выбора решения для модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники // Военная мысль. – 2019. – № 6. – С. 98-109.

16. Макитрин А.В. Совершенствование научно-методического обеспечения государственной программы вооружения как научная проблема исследования // Военная мысль. – 2019. – № 6. – С. 50-54.

17. Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система предупреждения о компьютерном нападении. – М.: Афина, 2018. – 448 с.

18. Кузнецов Ю.В., Винокуров А.В., Бардаев Э.А. Теоретические основы обеспечения информационной безопасности робототехнических комплексов // Военная мысль. – 2018. – № 12. – С. 71-78.

19. Иванов В.А. Армия США готовится к кибервойне. Военные ученые нарисовали перспективы электронных батальонов // Независимое военное обозрение. – 2018. – № 6 (964).

20. Чаднов А.П., Гель В.Э., Гудков М.А. Военные сетевые цифровые технологии ВС РФ нового облика и эпоха цифровой экономики России. Ч. 1. Актуальность и основные задачи военных сетевых цифровых технологий // Информация и космос. – 2017. – № 3. – С. 89-93.

21. Коутиньо Д. Управление разработками перспективных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 535 с.

А.П. Лещинский, кандидат технических наук

Полный жизненный цикл корабля. Ресурсно-процессный подход

В статье рассмотрены нормативно-правовые документы, касающиеся разработки системы управления жизненным циклом продукции военного назначения. Описаны факторы, сдерживающие разработку нормативно-технической базы системы управления полным жизненным циклом кораблей. Предложена модель анализа и ресурсно-процессный подход к системе управления полным жизненным циклом корабля.

Военной доктриной Российской Федерации в перечне задач военно-экономического обеспечения обороны государства определены «...разработка и производство перспективных систем и образцов вооружения, военной и специальной техники, ... создание системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники...»¹. Разработка системы управления полным жизненным циклом (ПЖЦ) является перспективным направлением оптимизации затрат на развитие и поддержание технической составляющей Вооруженных Сил страны и это весьма сложная проблема, требующая комплексного подхода и скоординированной, взаимосвязанной работы многих органов и организаций, непрерывного и жесткого руководства со стороны единого центра [1].

Для решения поставленных задач развернут комплекс работ по реформированию нормативной правовой и нормативно-технической базы с целью создания условий для перехода к использованию контрактов полного жизненного цикла применительно к сложным наукоемким изделиям с длительным жизненным циклом (ЖЦ) (авиационная техника, военное кораблестроение, ракетно-космическая техника и др.)². Одним из нормативных документов в сфере управления жизненным циклом продукции военного назначения является ГОСТ Р 56136-2014³. Документ, разработанный специалистами в области информатики и авиационной техники, может быть применен (при соответствующей адаптации) при совершенствовании нормативно-технической базы в военном кораблестроении.

При этом, в первую очередь, следует дать определение объекта «корабль» и переработать термины с учетом специфики ВМФ. Требуют уточнения определения понятий «стадия», «этап», «период», «фаза», являющихся, по сути, синонимами перевода на русский язык термина «phase» (англ.), не имеющих в тексте однозначных дефиниций. Необходимо установить в каких случаях подразумевается промежуток времени, и в каких – состояние системы. Прочие несоответствия не имеют принципиального значения и могут быть устранены в процессе разработки нормативно-технической документации для военного кораблестроения. Но с другими документами дело обстоит сложнее.

Общие замечания

ООО «Информационно-аналитический вычислительный центр» («ИАВЦ») подготовил ГОСТ Р 57193⁴ на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, от-

- 1 Военная доктрина Российской Федерации (утверждена Президентом РФ 25.12.2014 № Пр-2976) // Российская газета – Федеральный выпуск 2014. – 30 декабря.
- 2 Управление жизненным циклом в России. – М.: НИЦ «Прикладная Логистика» // <https://cals.ru/life-cycle>.
- 3 ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – М., 2015. – 15 с.
- 4 ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ). – М., 2016, – 98 с.

носящегося к информационным технологиям. Его целью является «...обеспечить определенное множество процессов для облегчения связи между приобретающими сторонами, поставщиками и другими заинтересованными сторонами в течение жизненного цикла системы». Таким образом, процессы, описанные в стандарте (98 страниц), предназначены для оформления контрактов, что крайне важно в юридической области. Но вот декларация о том, что он «...описывает процессы, составляющие жизненный цикл любой искусственной системы, созданной человеком»¹, не может быть применена к искусственной большой сложной военной человеко-машинной (эрготехнической) системе – боевому кораблю.

Терминология

В рассмотренных ГОСТах используются различные определения понятия «жизненный цикл»:

Жизненный цикл изделия, жизненный цикл (life cycle) – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации².

Жизненный цикл (life cycle) – развитие системы, продукции, услуги, проекта или другой создаваемой человеком сущности от замысла до списания³.

Жизненный цикл: промежуток времени между появлением общей концепции продукта и утилизацией (конкретного экземпляра данного продукта)⁴. Кроме того, произвольное использование в документах терминов «жизненный цикл» и «полный жизненный цикл» без уточнения области применения вносит дополнительную неопределенность.

Возникновение понятия «полный жизненный цикл» в конце 90-х годов прошлого века было обосновано тем, что «...не все этапы создания ТС [технической системы] отражены в понятии «жизненный цикл» [2]. Подобное заключение можно сделать по многим этапам жизненного цикла корабля и, в особенности – периода эксплуатации.

Процессы жизненного цикла

Существенная часть нормативной документации и научно-технической литературы посвящена этапам проектирования и постройки технических систем. На этих этапах принимаются основные научно-технические и организационные решения, определяющие не только облик проектируемой системы, но и затраты на ЖЦ. Для боевых кораблей ВМФ важнейшим периодом полного жизненного цикла является эксплуатация. Затраты на обеспечение процессов эксплуатации кратно превышают расходы на проектирование и постройку (рисунок 1).

Следовательно, основные усилия при разработке нормативно-технической базы системы управления ПЖЦ кораблей должны быть сосредоточены на процессах эксплуатации. При этом следует не исключать из состава разработчиков экспертов 3 ЦНИИ Минобороны России, Российской академии ракетных и артиллерийских наук, Международного центра по информатике и электронике, МИРЭА, ЦНИИ РТК, как поступило ООО «ИАВЦ» при разработке ГОСТ Р 57193⁵ (на замену ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005⁶), а напротив – привлекать специалистов и практиков в области эксплуатации.

1 Там же. С. 2.

2 ГОСТ Р 56136-2014. – С.2.

3 ГОСТ Р 57193 – 2016. – С.5; ГОСТ Р 57098-2016/ ISO/IECTR 24774:2010. Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Руководство для описания процесса. – М., 2016. – 19 с.

4 ГОСТ Р 27.202-2012. Надежность в технике. Стоимость жизненного цикла. – С.1.

5 ГОСТ Р 57193-2016.

6 ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – 57 с.

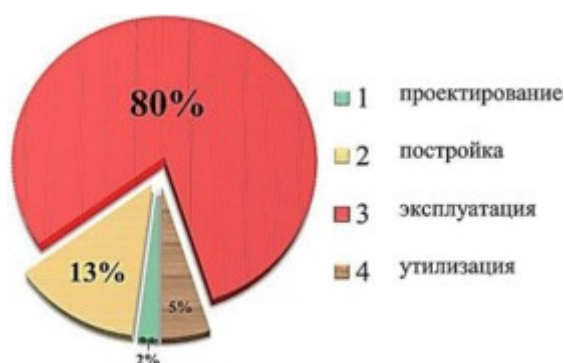


Рисунок 1 – Соотношение затрат на обеспечение процессов полного жизненного цикла корабля ВМФ

В настоящее время, следуя принципу выделять главные показатели, отражающие наиболее существенные свойства, при эксплуатации кораблей анализируются процессы технического обслуживания и ремонта, материально-технического обеспечения, содержания личного состава и базирования. Эти показатели используются уже более века, но произошедшие за это время изменения учитываются не полностью.

Для подтверждения того, что показатели являются наиболее существенными, необходимо проанализировать максимально полно процессы эксплуатации корабля, оценить их ресурсоемкость и на этом основании делать выводы. Например, нередко упускаются процессы комплектования корабля имуществом номенклатуры Минобороны, не учитываются нормативные документы, регламентирующие создание запасов материальных средств на складах различных уровней. Расчеты показывают, что операционные расходы баз и складов на содержание и обновление запасов могут достигать более половины ресурсоемкости вспомогательных процессов.

Для обоснованного применения понятия «полный жизненный цикл», специалисты должны установить максимально полный на сегодняшний момент перечень процессов ПЖЦ корабля мирного времени с включением прямых, косвенных, сопряженных и сопутствующих процессов и затрат [3].

Ресурсное обеспечение процессов

Основной целью оценивания стоимости жизненного цикла (СЖЦ) должно быть получение исходных данных для выработки решений, принимаемых на всех или отдельных этапах и стадиях жизненного цикла продукта. Простая модель стоимости жизненного цикла имеет в своей основе общепринятую схему бухгалтерского учета затрат и содержит математические выражения для оценок затрат, связанных со всеми выделенными элементами СЖЦ. Отмечается, что процесс оценки СЖЦ осложняется влиянием ряда факторов: меняющаяся реальная стоимость денег, цена упущенных возможностей, инфляция и изменения в налогообложении¹.

Стоимость жизненного цикла ГОСТ 56136² определяет как суммарные затраты трудовых, материальных и финансовых ресурсов в их денежном выражении. Таким образом, ресурсы, необходимые для обеспечения процессов ПЖЦ, но не имеющие денежного выражения, исключаются из процесса управления. «Неполнота жизненного цикла препятствует принятию оптимального решения по ТС, ... не обеспечивается ... оптимальность управленческих решений...» [2].

Современный уровень науки не позволяет создать адекватную модель прогноза инфляции, изменения цены нефти и других ресурсов на протяжении нескольких десятилетий жизненного цикла корабля. Определив объемы ресурсов для обеспечения процессов ПЖЦ корабля, нецелесообразно затрачивать усилия на сложные процедуры их денежной оценки для получения недостоверных результатов.

1 ГОСТ Р 27.202-2012. – С.5, 7.

2 ГОСТ Р 56136-2014. – С.6.

Задача по совершенствованию системы обеспечения производства и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники на всех этапах жизненного цикла¹ нерешаема без оценки номенклатуры, объема и качества необходимых ресурсов в натуральных показателях. При этом под «ресурсами» следует понимать все, что необходимо для обеспечения процессов ПЖЦ корабля, в том числе и те ресурсы, которые в настоящее время не учитываются, не имеют стоимостного выражения, но фактически потребляются. В том числе экологические.

При разработке нормативно-технической базы системы управления ПЖЦ следует руководствоваться аксиомой: «Процессы могут идти только при наличии ресурсов».

Предложения

Назрела необходимость перехода от оценки стоимости жизненного цикла к «ресурсоемкости» – измерению затрат ресурсов для обеспечения процессов ПЖЦ мирного времени в натуральных показателях, при максимально полном учете как процессов, так и необходимых ресурсов, т. е. к использованию «ресурсно-процессного» аспекта системного подхода к совершенствованию нормативно-технической базы системы управления ПЖЦ корабля ВМФ.

Автором разработаны модели и «Методика оценки потребности в ресурсах для обеспечения процессов полного жизненного цикла корабля» Фрагмент трехмерной модели анализа процессов ПЖЦ боевого корабля как боевой подсистемы ВМФ представлен на рисунке 2.

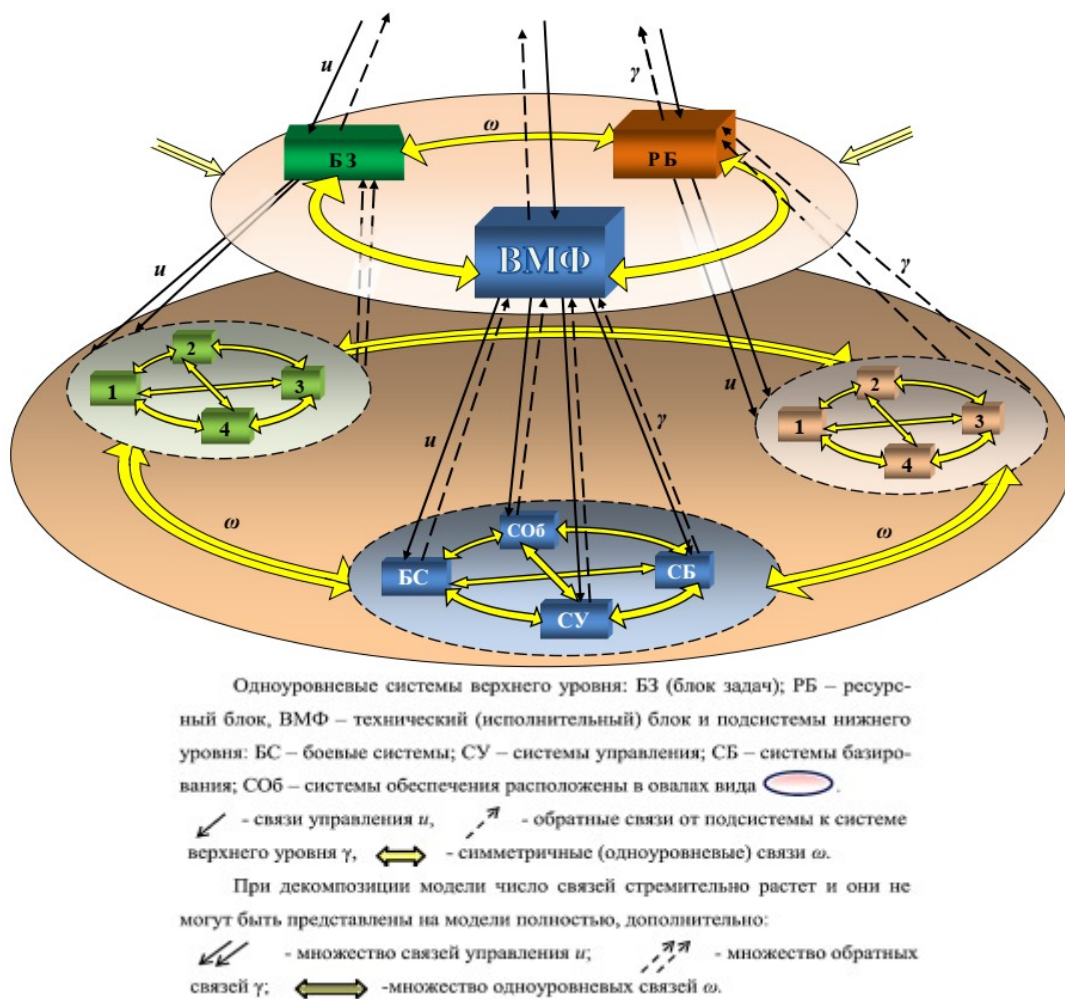


Рисунок 2 – Фрагмент модели тактико-технико-экономического анализа процессов полного жизненного цикла корабля

1 Военная доктрина Российской Федерации (утверждена Президентом РФ 25.12.2014 № Пр-2976).

Заключение

1. При совершенствовании системы управления полным жизненным циклом кораблей ВМФ необходимо уточнить терминологию, нормативно определить перечень процессов ПЖЦ мирного времени и номенклатуру ресурсов для их обеспечения.

2. Для исследования процессов ПЖЦ мирного времени, их ресурсного обеспечения следует привлекать не только научные организации, конструкторские бюро, но в первую очередь – представителей довольствующих органов и специалистов-практиков в области эксплуатации кораблей.

3. Использование «ресурсно-процессного» подхода к анализу процессов полного жизненного цикла корабля повысит обоснованность принимаемых на основе достоверной информации управленческих решений.

Список использованных источников

1. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. – 2014. – № 2 (27). – С. 4-9.

2. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000. – 326 с.

3. Нарусбаев А.А. Введение в теорию обоснования проектных решений. – Л.: Судостроение, 1976. – 224 с.

А.Г. Подольский, доктор экономических наук, профессор
А.А. Родин

Постановка задачи оценки и анализа результативности и эффективности научной деятельности подразделений и научных работников научно-исследовательских организаций Минобороны России

В статье раскрыта суть понятий результативности и эффективности деятельности научных подразделений научно-исследовательских организаций Министерства обороны Российской Федерации и их работников. Сформирован состав показателей, характеризующих результативность и эффективность научной деятельности управлений (центров), отделов, лабораторий и их научных работников. Сформулирована постановка задачи оценки результативности и эффективности научной деятельности и ее анализа.

Научно-исследовательские организации (НИО) Минобороны России играют важную роль в обеспечении военной безопасности государства, проводя большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на решение научных задач, связанных с обоснованием планов развития вооружения, военной и специальной техники, а также созданием перспективных высокотехнологичных образцов.

В настоящее время в НИО Минобороны России работает значительное количество ученых различных специальностей. Научная работа в них осуществляется за счет субсидий, представляющих собой бюджетные средства, которые предназначены для выплаты денежного довольствия военнослужащим, заработной платы гражданскому персоналу, оплаты командировочных расходов, закупки специального программного обеспечения, оплаты коммунальных расходов на теплоснабжение, водоснабжение, водоотведение, эксплуатацию и ремонт помещений, электроэнергию, обеспечение связью, а также для оплаты специальных расходов.

На проведение исследований государство направляет значительные бюджетные средства. Поэтому весьма важно, чтобы работа ученых велась результативно, а бюджетные средства расходовались эффективно. Обеспечению результативности работы НИО Минобороны России уделяется значительное внимание. Оценка результативности научной деятельности стала обязательной процедурой при формировании годового отчета о научной работе НИО Минобороны России за прошедший период¹. Перечень показателей результативности научной деятельности НИО Минобороны России, критерии ее оценки и пороговые значения показателей утверждены директивой начальника Генерального штаба – первого заместителя Министра обороны Российской Федерации (далее – Перечень) от 29.06.2018 № 319/1/1820.

Кроме того, большое количество публикаций посвящено исследованиям в рассматриваемой предметной области. В них нашли отражение вопросы оценки эффективности, результативности и мониторинга научной деятельности, а также определения трудоемкости выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [1-7]. В то же время следует отметить, что в этих работах недостаточно полно рассмотрены вопросы, связанные с оценкой результативности деятельности научных подразделений и работников НИО Минобороны России, а также с определением эффективности расходования бюджетных средств и использования трудовых ресурсов. В дополнение к этому следует отметить, что существующий подход к определению ре-

¹ Приказ Министра обороны Российской Федерации от 30 июня 2015 г. № 380.

зультативности носит статичный характер и не предусматривает оценку изменения (улучшения, ухудшения) результативности научной работы в динамике.

Учитывая это, а также то, что показатели Перечня не могут быть использованы для оценки результативности работы научных подразделений НИО и их научных работников в силу их обобщенного характера, актуальной является задача разработки специального методического аппарата оценки и анализа результатов научной деятельности НИО.

Методическое обеспечение решения задачи оценки научной деятельности НИО Минобороны России должно позволять осуществлять оценку трех основных показателей, первый из которых характеризует результативный аспект научной деятельности организации и ее подразделений – показатель результативности научной работы.

Второй и третий показатели отражают эффективность расходования (использования) имеющихся в НИО ресурсов – финансовых и трудовых. Для характеристики эффективности расходования финансовых ресурсов на создание научной продукции используется показатель – эффективность расходования бюджетных средств, а для характеристики эффективности использования трудовых ресурсов – эффективность использования научных кадров. Указанные показатели всесторонне характеризуют научную деятельность НИО и органично дополняют друг друга, отражая различные аспекты процесса создания научной продукции.

Научная организация представляет собой, в общем случае, совокупность подразделений и работников, решающих различные научные задачи. В силу различной специализации подразделений и их штатной численности, а также количества решаемых в процессе выполнения НИР и оперативных заданий задач и их специфики, необходимо показатели результативности и эффективности определять для научных подразделений, относящихся к четырем уровням декомпозиции НИО на составные части – управления (центры), отделы, лаборатории и научные работники.

В соответствии с указанным делением управление (центр) будем обозначать индексом i ; отдел – совокупностью индексов – ij , отражающих принадлежность j -го отдела i -му управлению (центру); лабораторию – тремя индексами ijk , которые отражают принадлежность k -й лаборатории j -му отделу i -го управления (центра), научного сотрудника – четырьмя индексами – $ijkl$, отражающими то, что l -й работник находится в штате k -й лаборатории, j -го отдела i -го управления (центра).

При формировании состава показателей, характеризующих результаты научной деятельности, как показывает практика, необходимо учитывать, что для получения результата, в общем случае, может потребоваться от нескольких месяцев до нескольких лет, что, в свою очередь, влияет на результативность научной работы и ее эффективность. Исходя из этого для объективной характеристики научной деятельности НИО Минобороны России необходимо использовать две группы показателей результативности.

Для краткости изложения в обозначениях показателей результативности, эффективности и других далее используемых показателей нижний индекс, характеризующий принадлежность к определенной составной части НИО, опускается.

Обозначим $R_r(t_H, t_K)$ и $R_r(t)$ результативности научной деятельности составных частей НИО на отрезке времени $[t_H, t_K]$ и в t -м году соответственно, в части получения результата r -го вида. Тогда для комплексной оценки результативности составных частей НИО на основе перечисленных частных показателей формируются интегральные показатели результативности научной деятельности составных частей НИО, рассчитываемые по формулам:

- на фиксированном отрезке времени $[t_H, t_K]$:

$$W(t_H, t_K) = \sum_{r=1}^{N_{BP}} R_r(t_H, t_K), \quad (1)$$

где N_{BP} – количество видов научных результатов;

- в t -м году:

$$W(t) = \sum_{r=1}^{N_{BP}} R_r(t). \quad (2)$$

На базе указанных обобщенных показателей, рассчитываемых по формулам (1) и (2), могут приниматься обоснованные решения по оптимизации кадрового обеспечения решения задач, стоящих перед НИО Минобороны России на плановом периоде, а также по моральному и материальному поощрению за достигнутые научные результаты в t -м году. Используя вышеприведенные показатели результативности, а также данные об объемах бюджетных средств, израсходованных на содержание составных частей НИО, формируются показатели, характеризующие эффективность расходования бюджетных средств каждой составной частью НИО. Общие формулы для оценки указанных показателей имеют вид:

- на фиксированном отрезке времени $[t_H, t_K]$:

$$\mathcal{E}^5(t_H, t_K, t_p) = \frac{W(t_H, t_K)}{C(t_p, t_H, t_K)}, \quad (3)$$

где $W(t_H, t_K)$ – результативность научной деятельности составной части НИО на отрезке времени $[t_H, t_K]$;

$C(t_p, t_H, t_K)$ – размер израсходованных на отрезке времени $[t_H, t_K]$ составной частью НИО бюджетных средств (в ценах расчетного года t_p);

- в t -м году:

$$\mathcal{E}^5(t, t_p) = \frac{W(t)}{C(t_p, t)}, \quad (4)$$

где $W(t)$ – результативность научной деятельности составной части НИО в t -м году;

$C(t_p, t)$ – размер израсходованных в t -м году составной частью НИО бюджетных средств (в ценах расчетного года t_p).

Показатели, рассчитываемые по формулам (3) и (4), характеризуют результативность научной деятельности подразделений НИО Минобороны России и их работников на отрезке времени $[t_H, t_K]$ и в фиксированном году t , приходящуюся на единицу бюджетных расходов.

Используя вышеприведенные показатели результативности научной деятельности составной части НИО, а также затраченные ею трудовые ресурсы, можно сформировать показатели, характеризующие эффективность использования научных кадров составной частью НИО, которые рассчитываются по следующим общим формулам:

- на фиксированном отрезке времени $[t_H, t_K]$:

$$\mathcal{E}^T(t_H, t_K) = \frac{W(t_H, t_K)}{V(t_H, t_K)}, \quad (5)$$

где $V(t_H, t_K)$ – суммарная трудоемкость выполнения работ на отрезке времени $[t_H, t_K]$ научными сотрудниками составной части НИО;

- в t -м году:

$$\mathcal{E}^T(t) = \frac{W(t)}{V(t)}, \quad (6)$$

где $V(t)$ – суммарная трудоемкость выполнения работ в t -м году научными сотрудниками составной части НИО.

Рассчитываемые по формулам (5) и (6) показатели характеризуют результативность научной деятельности составной части НИО на отрезке времени $[t_H, t_K]$ и в фиксированном году t , приходящуюся на единицу трудозатрат.

Таким образом, задача оценки научной деятельности подразделений НИО Минобороны России и их сотрудников формулируется в следующем виде. Определить:

1) результативность научной деятельности составных частей НИО в каждый год t отчетного периода, которая характеризуется системой показателей:

$$W_i^{Y(L)}(t), W_{ij}^O(t), W_{ijk}^N(t), W_{ijkl}^P(t), i = \overline{1, N_{yu}}, j = \overline{1, N_O}, k = \overline{1, N_L}, l = \overline{1, N_P},$$

где i – индекс управления (центра) НИО;

j – индекс отдела НИО;

k – индекс лаборатории НИО;

l – индекс работника НИО;

N_{yu} – общее количество управлений и центров в НИО;

N_O – максимальное количество отделов в управлениях и центрах НИО;

N_L – максимальное количество лабораторий в отделах НИО;

N_P – максимальное количество работников в лабораториях НИО и в отделах, не имеющих лабораторий;

2) результативность научной деятельности составных частей НИО на заданном отрезке времени $[t_H, t_K]$, которая характеризуется аналогичной системой показателей с заменой параметра t на пару параметров t_H и t_K ;

3) эффективность расходования бюджетных средств составными частями НИО в каждый год t отчетного периода, которая характеризуется системой показателей:

$$\mathcal{E}_i^{BY(L)}(t, t_p), \mathcal{E}_{ij}^{BO}(t, t_p), \mathcal{E}_{ijk}^{BN}(t), \mathcal{E}_{ijkl}^{BP}(t, t_p), i = \overline{1, N_{yu}}, j = \overline{1, N_O}, k = \overline{1, N_L}, l = \overline{1, N_P};$$

4) эффективность расходования бюджетных средств составными частями НИО на отрезке времени $[t_H, t_K]$, которая характеризуется системой показателей, аналогичным перечисленным в п. 3 с заменой параметра t на пару параметров t_H и t_K ;

5) эффективность использования составными частями НИО научных кадров в каждый год t отчетного периода, которая характеризуется системой показателей:

$$\mathcal{E}_i^{TY(L)}(t, t_p), \mathcal{E}_{ij}^{TO}(t, t_p), \mathcal{E}_{ijk}^{TN}(t), \mathcal{E}_{ijkl}^{TP}(t, t_p), i = \overline{1, N_{yu}}, j = \overline{1, N_O}, k = \overline{1, N_L}, l = \overline{1, N_P};$$

6) эффективность использования составными частями НИО научных кадров на отрезке времени $[t_H, t_K]$, которая характеризуется аналогичной системой показателей с заменой параметра t на пару параметров t_H и t_K .

Результаты решения сформулированной задачи являются исходными данными для решения задачи анализа результативности и эффективности расходования бюджетных средств и использования научных кадров. Для краткости изложения там, где это не нарушает его логики, вместо «эффективность расходования бюджетных средств и использования научных кадров» используется «эффективность научной деятельности».

Для обеспечения объективного и всестороннего анализа результативности и эффективности научной деятельности его результаты должны позволять:

а) выявлять негативные и позитивные тенденции в результативности и эффективности научной деятельности составных частей НИО;

б) давать качественную оценку текущего состояния научной деятельности составных частей НИО;

в) представлять структуру результативности научной деятельности составных частей НИО.

Рассмотрим состав показателей, позволяющих выявлять негативные и позитивные тенденции в результативности и эффективности научной деятельности.

Выявление негативных (позитивных) тенденций в научной деятельности составных частей НИО основано на сопоставлении значений показателей результативности и эффективности в различные годы и периоды времени. Для краткости изложения далее приводятся аналитические выражения общего вида, которые могут применяться для различных составных частей НИО.

В основе показателей, характеризующих тенденции в изменении результативности и эффективности научной деятельности составной части НИО, лежит сопоставление значений указанных показателей в различные годы отчетного периода. При использовании годовых значений результативности и эффективности научной деятельности составной части НИО их изменение характеризуется показателями, определяемыми по формулам:

- для оценки динамики результативности научной деятельности:

$$P^P(t) = \frac{W(t) - W(t-1)}{W(t-1)}, \quad (7)$$

где $W(t)$, $W(t-1)$ – значения результативности научной деятельности составной части НИО в t -й и $(t-1)$ -й годы соответственно;

- для оценки динамики эффективности расходования бюджетных средств:

$$P^{\mathcal{E}^B}(t) = \frac{\mathcal{E}^B(t, t_p) - \mathcal{E}^B(t-1, t_p)}{\mathcal{E}^B(t-1, t_p)}, \quad (8)$$

где $\mathcal{E}^B(t, t_p)$, $\mathcal{E}^B(t-1, t_p)$ – значения эффективности расходования составной частью НИО бюджетных средств на научную деятельность в t -й и $(t-1)$ -й годы соответственно;

- для оценки динамики эффективности использования научных кадров:

$$P^{\mathcal{E}^T}(t) = \frac{\mathcal{E}^T(t) - \mathcal{E}^T(t-1)}{\mathcal{E}^T(t-1)}, \quad (9)$$

где $\mathcal{E}^T(t)$, $\mathcal{E}^T(t-1)$ – значения эффективности использования научных кадров составной части НИО в t -й и $(t-1)$ -й годы соответственно.

Для анализа динамики эффективности и результативности научной деятельности составной части НИО за фиксированный период времени используются показатели:

- для оценки динамики результативности научной деятельности:

$$P^P(t_{i-1}, t_i, t_{i+1}) = \frac{W(t_i, t_{i+1}) - W(t_{i-1}, t_i)}{W(t_{i-1}, t_i)}, \quad (10)$$

где $W(t_i, t_{i+1})$, $W(t_{i-1}, t_i)$ – значения результативности научной деятельности составной части НИО на отрезках времени $[t_i, t_{i+1}]$ и $[t_{i-1}, t_i]$ соответственно;

- для оценки динамики эффективности расходования бюджетных средств:

$$P^{\mathcal{E}^B}(t_{i-1}, t_i, t_{i+1}) = \frac{\mathcal{E}^B(t_i, t_{i+1}, t_p) - \mathcal{E}^B(t_{i-1}, t_i, t_p)}{\mathcal{E}^B(t_{i-1}, t_i, t_p)}, \quad (11)$$

где $\mathcal{E}^5(t_i, t_{i+1}, t_p)$, $\mathcal{E}^5(t_{i-1}, t_i, t_p)$ – значения эффективности расходования бюджетных средств на научную деятельность составной части НИО на отрезках времени $[t_i, t_{i+1}]$ и $[t_{i-1}, t_i]$ соответственно;

• для оценки динамики эффективности использования научных кадров:

$$P^{\mathcal{E}^T}(t_{i-1}, t_i, t_{i+1}) = \frac{\mathcal{E}^T(t_i, t_{i+1}) - \mathcal{E}^T(t_{i-1}, t_i)}{\mathcal{E}^T(t_{i-1}, t_i)}, \quad (12)$$

где $\mathcal{E}^T(t_i, t_{i+1})$, $\mathcal{E}^T(t_{i-1}, t_i)$ – значения эффективности использования научных кадров составной части НИО на отрезках времени $[t_i, t_{i+1}]$ и $[t_{i-1}, t_i]$ соответственно.

Если показатели, определяемые по формулам (7)...(12), являются положительными, то это свидетельствует о позитивной тенденции в результативности и эффективности научной деятельности на краткосрочном отрезке времени. Если они равны нулю, то это говорит о стабильности результативности и эффективности научной деятельности составной части НИО, а если указанные показатели имеют отрицательные значения, то это свидетельствует о спаде в результативности и эффективности ее научной деятельности.

Таким образом, показатели, рассчитанные по формулам (7)...(12), позволяют ответить на два вопроса:

- а) снижается или повышается результативность и эффективность научной деятельности составной части НИО при переходе от определенного года (отрезка времени) к последующему;
- б) какова степень повышения (снижения) результативности и эффективности научной деятельности составной части НИО.

С целью объективного и всестороннего анализа научной деятельности составной части НИО анализ негативной (спад) и позитивной (рост) тенденции изменения результативности (эффективности) ее научной деятельности должен проводиться не только с количественной, но и с качественной точки зрения. Для этого вводится понятие состояния, в котором может находиться составная часть НИО в t -м году (на отрезке времени $[t_i, t_{i+1}]$), с точки зрения достигнутой результативности (эффективности).

Качественный анализ основан на определении состояния, в котором в $(t-1)$ -й год (на отрезке времени $[t_{i-1}, t_i]$) находилась составная часть НИО в части результативности (эффективности) ее научной деятельности и состояния, в которое она перешла в t -м году (на отрезке времени $[t_i, t_{i+1}]$) и последующем их сопоставлении.

На краткосрочном отрезке времени применительно к результативности (эффективности) предлагается использовать следующую шкалу оценок научной деятельности в t -м году (на отрезке времени $[t_i, t_{i+1}]$): неудовлетворительная, удовлетворительная, хорошая и отличная.

Для определения того, в каком состоянии находится составная часть НИО, должны быть сформированы диапазоны значений результативности и эффективности, соответствующие каждому из указанных состояний. Для наглядного представления тенденций изменения результативности и эффективности научной деятельности на отрезке времени фиксированной продолжительности целесообразно использовать графическое представление значений показателей, рассчитываемых по формулам (7)...(12).

Для характеристики изменения показателя результативности научной деятельности составной части НИО на длительном отрезке времени $[t_1, t_n]$ используются показатели:

- а) среднегодовое изменение на отрезке времени $[t_1, t_n]$ показателей:
- результативности:

$$\bar{P}^P(t_1, t_n) = \frac{1}{t_n - t_1 + 1} \sum_{t=t_1}^{t_n} (P^P(t+1) - P^P(t));$$

- эффективности расходования бюджетных средств:

$$\bar{P}^{\mathcal{E}^B}(t_1, t_n, t_p) = \frac{1}{t_n - t_1 + 1} \sum_{t=t_1}^{t_n} (\mathcal{E}^B(t+1, t_p) - \mathcal{E}^B(t, t_p));$$

- эффективности использования научных кадров:

$$\bar{P}^{\mathcal{E}^T}(t_1, t_n) = \frac{1}{t_n - t_1 + 1} \sum_{t=t_1}^{t_n} (\mathcal{E}^T(t+1) - \mathcal{E}^T(t));$$

б) общее изменение рассматриваемых показателей на отрезке времени $[t_1, t_n]$:

- для результативности:

$$P^P(t_1, t_n) = \frac{W(t_n) - W(t_1)}{W(t_1)};$$

- эффективности расходования бюджетных средств:

$$P^{\mathcal{E}^B}(t_1, t_n, t_p) = \frac{\mathcal{E}^B(t_n, t_p) - \mathcal{E}^B(t_1, t_p)}{\mathcal{E}^B(t_1, t_p)};$$

- эффективности использования научных кадров:

$$P^{\mathcal{E}^T}(t_1, t_n) = \frac{\mathcal{E}^T(t_n) - \mathcal{E}^T(t_1)}{\mathcal{E}^T(t_1)}.$$

Таким образом, задача анализа научной деятельности подразделений НИО Минобороны России и их сотрудников формулируется в следующем виде.

Определить:

1) динамику годовых значений результативности научной деятельности составных частей НИО на заданном отрезке времени $[t_1, t_n]$, которая характеризуется показателями:

- для научного работника – $P_{ijkl}^P(t_1), P_{ijkl}^P(t_2), \dots, P_{ijkl}^P(t_n)$, $i = \overline{1, N_{yu}}$, $j = \overline{1, N_o}$, $k = \overline{1, N_l}$, $l = \overline{1, N_p}$;
- для лабораторий, отделов и управления (центра) индекс $ijkl$ заменяется соответственно на ijk , ij и i ;

2) динамику годовых значений эффективности расходования бюджетных средств на научную деятельность составными частями НИО на заданном отрезке времени $[t_1, t_n]$, которая характеризуется аналогичными показателями с заменой индекса P на \mathcal{E}^B ;

3) динамику годовых значений эффективности использования научных кадров составными частями НИО на заданном отрезке времени $[t_1, t_n]$, которая характеризуется аналогичными показателями с заменой индекса на \mathcal{E}^T ;

4) динамику значений результативности научной деятельности составных частей НИО, рассчитанных на отрезках времени продолжительностью 2-5 лет, принадлежащих заданному отрезку времени $[t_1, t_n]$, которая характеризуется показателями:

- для научного работника – $P_{ijkl}^P(t_1, t_2, t_3), P_{ijkl}^P(t_2, t_3, t_4), \dots, P_{ijkl}^P(t_{n-2}, t_{n-1}, t_n)$, $i = \overline{1, N_{yu}}$, $j = \overline{1, N_o}$, $k = \overline{1, N_l}$, $l = \overline{1, N_p}$;
- для лабораторий, отделов и управления (центра) индекс $ijkl$ заменяется соответственно на ijk , ij и i ;

5) динамику значений эффективности расходования бюджетных средств на научную деятельность составных частей НИО, рассчитанных на отрезках времени продолжительностью 2-5

лет, принадлежащих заданному отрезку времени $[t_1, t_n]$ – индекс P показателей заменяется на ЭБ;

б) динамику значений эффективности использования научных кадров составными частями НИО, рассчитанных на отрезках времени продолжительностью 2-5 лет, принадлежащих заданному отрезку времени $[t_1, t_n]$ – индекс показателей заменяется на ЭТ;

Решение сформулированных постановок задач оценки и анализа результативности и эффективности научной деятельности подразделений НИО Минобороны России и их работников позволит руководителям различных уровней получать объективную и всестороннюю информацию о расходовании финансовых ресурсов и использовании трудовых ресурсов, а также принимать рациональные управленческие решения, направленные на повышение эффективности расходования бюджетных средств.

Список использованных источников

1. Виноградов Б.А., Пальмов В.Г. Развитие кадрового потенциала оборонно-промышленного комплекса. – СПб.: Наука, 2013. – 260 с.
2. Каспаров В.Б., Морозов О.С. Методический аппарат оценки эффективности научно-исследовательских организаций (учреждений) и научных работников Министерства обороны Российской Федерации. – М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 2017. – 285 с.
3. Кулагин А.С. Оценка и самооценка научной организации // Инновации. – 2011. – № 12 (158). – С. 54-60.
4. Колетвинова Е.Ю. Стратегическое управление персоналом. Краткий курс. – М.: Проспект, 2018. – 144 с.
5. Подольский А.Г., Полярус А.Н., Родина А.А. О мониторинге результативности научной деятельности научно-исследовательских организаций // Вестник воздушно-космической обороны. – 2017. – № 1 (13). – С. 11-22.
6. Стаут Л.У. Управление персоналом. Настольная книга менеджера. – М.: Добрая книга, 2009. – 536 с.

В.Г. Найденов, доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Е.В. Першин

Методический подход к формированию рационального типажа средств траекторных измерений испытательного полигона Министерства обороны Российской Федерации

В статье предложен методический подход, позволяющий сформировать рациональный типаж новых средств траекторных измерений, необходимых для оснащения наземного траекторного измерительного комплекса.

Задача формирования рационального типажа новых средств траекторных измерений (ТИ), необходимых для дооснащения траекторных измерительных комплексов (ТИК) испытательных полигонов, возникает при формировании государственных программных документов по развитию вооружения и военной техники (ВВТ) [1, 4]. В данной статье рассматривается задача формирования рационального типажа новых средств траекторных измерений, необходимых для совершенствования экспериментально-испытательной базы отдельного испытательного полигона с целью обеспечения испытаний на нем перспективных образцов ВВТ с использованием разработанного способа автоматизированного синтеза ТИК.

Как правило, необходимый типаж новых средств траекторных измерений для дооснащения ТИК испытательного полигона обосновывается исходя из требований к траекторным измерительным комплексам, предъявляемым к ним со стороны перспективных образцов ВВТ, которые планируется испытывать на определенном временном интервале [2, 3, 4].

Ранее рациональный состав и типаж дополнительных средств ТИ, необходимых для дооснащения траекторного измерительного комплекса формировался путем перебора различных вариантов расстановок средств ТИ на наземных измерительных пунктах (ИП) и выбора наилучшего варианта по выбранному критерию эффективности. Такой путь является достаточно трудоемким для лица, принимающего решение, поскольку необходимо провести перебор средств ТИ не только по всем измерительным пунктам, но и корректировать состав средств ТИ при рассмотрении различных точек планируемых траекторий полета испытываемых летательных аппаратов (ЛА) или множества точек рассматриваемого измерительного пространства. Кроме того, в этом случае, возможна лишь приблизительная минимизация затрат на совершенствование рассматриваемого траекторного измерительного комплекса.

В данной статье предлагается использовать разработанный автоматизированный способ синтеза ТИК, предполагающий минимальное участие лица, принимающего решение. При этом важным является правильный выбор показателей точности ТИК.

В работах [5, 6] в качестве показателя точности $Q(k)$ траекторного измерительного комплекса предлагается выбирать значение вероятности $P\{\Delta\hat{\Theta}(k) \in B\}$ нахождения в каждый дискретный момент времени $t=k$ погрешности $\Delta\hat{\Theta}(k)$ оценки вектора $\hat{\Theta}(k)$ параметров движения летательных аппаратов (ЛА) в пределах заданной доверительной области B требований к точности ТИК.

Показатель $Q(k)$ точности наземного ТИК представляет собой обобщенную интервальную гарантированную оценку точности траекторного измерительного комплекса по оцениваемому вектору $\hat{\Theta}(k)$ параметров движения летательного аппарата и в настоящее время достаточно

часто используется в теории траекторных измерений. Рассмотрим случай, когда оцениваемый вектор $\hat{\Theta}(k)$ параметров движения ЛА для заданной точки k траектории его полета имеет нормальное распределение и задается в виде:

$$\Theta(k) = [x(k) y(k) z(k) \dot{x}(k) \dot{y}(k) \dot{z}(k)]^T = [\Theta_1(k); \Theta_2(k)]^T,$$

где $\Theta_1(k) = [x(k) y(k) z(k)]^T$, $\Theta_2(k) = [\dot{x}(k) \dot{y}(k) \dot{z}(k)]^T$ – вектор координат ЛА и вектор составляющих вектора скорости ЛА в полигонной системе координат соответственно.

Тогда условием выполнения требований, предъявляемых к точности траекторного измерительного комплекса, будет следующее выражение:

$$P\{\Delta \hat{\Theta}(k) \subset B\} \geq P_d, \quad (1)$$

где B – заданная доверительная область требований к точности ТИК;

P_d – значение доверительной вероятности попадания вектора погрешности оценки вектора $\hat{\Theta}(k)$ параметров движения ЛА в заданную доверительную область B требований к точности ТИК.

Постановка задачи определения рационального типажа новых средств для ТИК испытательного полигона в математическом виде может быть представлена следующим функционалом:

$$C(\mathbf{X}_{n_n(\text{рац})}) = \underset{\mathbf{X}_{n_n} \in \Omega}{\text{Argmin}} \left(\sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R C_{rm}(\mathbf{X}_{rm}) \right), \quad (2)$$

с ограничением вида $P\{(\Delta \hat{\Theta}(k))_{\mathbf{X}_n} \subset B\} \geq P_d$ для всех траекторий полета ЛА,

где $\mathbf{X}_{n_n(\text{рац})}$ – вектор рационального состава новых средств ТИ, необходимых для выполнения в полном объеме требований, предъявляемых со стороны испытываемых перспективных образцов ВВТ;

$C(\mathbf{X}_{n_n(\text{рац})})$ – суммарная стоимость рационального состава новых средств ТИ, необходимых для выполнения в полном объеме требований, предъявляемых со стороны испытываемых перспективных образцов ВВТ;

M – количество типов необходимых средств ТИ;

R – количество средств ТИ r -го типа;

Ω – область изменения вектора \mathbf{X}_{n_n} .

В функционале (2) вектор \mathbf{X}_{n_n} имеет следующую структуру:

$$\mathbf{X}_{n_n} = \sum_{m=1}^M \mathbf{X}_{Rm}, \quad \mathbf{X}_{Rm} = [X_{1m}, \dots, X_{rm}, \dots, X_{Rm}],$$

где X_{rm} – r -е средство ТИ m -го типа.

Обобщенный алгоритм формирования рационального типажа новых средств траекторных измерений, необходимых для дооснащения наземного траекторного измерительного комплекса, приведен на рисунке 1.

В блоках 1-3 алгоритма проводится ввод следующих исходных данных:

- ввод требований по точности оценки координат и составляющих вектора скорости ЛА для всех траекторий полета летательных аппаратов $\hat{\sigma}_{\dot{x}}(i), \hat{\sigma}_{\dot{y}}(i), \hat{\sigma}_{\dot{z}}(i), \hat{\sigma}_x(i), \hat{\sigma}_y(i), \hat{\sigma}_z(i)$, $i = \overline{1, \dots, l}$, где l – количество рассматриваемых точек траектории полета ЛА;
- ввод данных о составе и ТТХ (среднеквадратические погрешности оценки первичных измеряемых параметров, максимальная дальность действия измерительных каналов и т. д.) средств ТИ, имеющих на измерительных пунктах испытательного полигона;
- ввод данных о составе и ТТХ перспективных средств ТИ.

В блоке 5 алгоритма проводится генерация текущей траектории полета ЛА в полигонной системе координат в соответствии с методикой [5]. Далее в блоке 8 алгоритма проводится формирование вектора $\mathbf{X}_n(i)$ существующих на ИП средств ТИ, которые наблюдают ЛА в i -й точке его траектории.

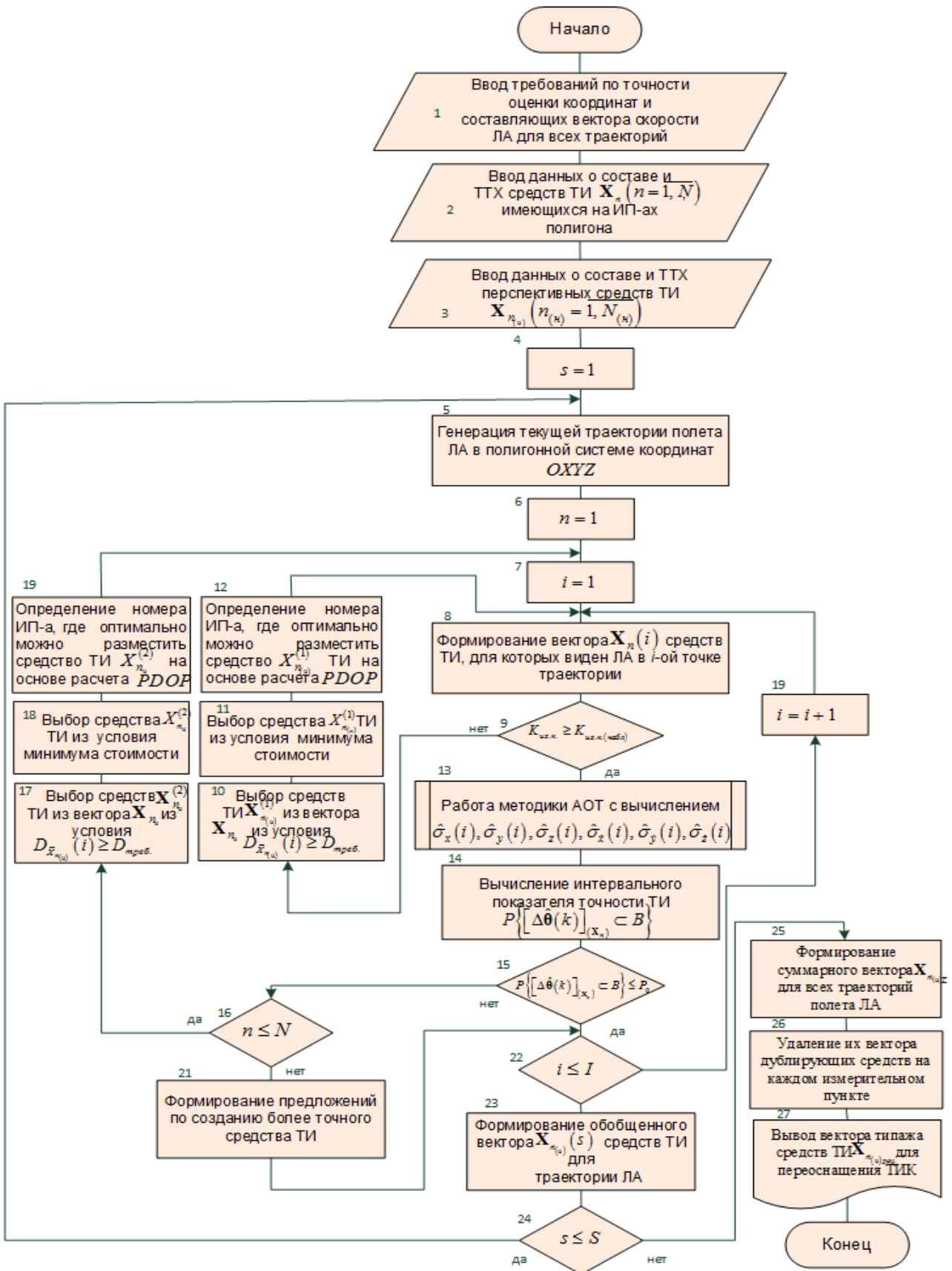


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм формирования рационального типажа новых средств траекторных измерений, необходимых для дооснащения наземного траекторного измерительного комплекса

Затем в блоке 9 проверяется условие наблюдаемости ЛА, т. е. проводится проверка возможности реализации для данной точки траектории какого-нибудь метода измерения (оценки параметров движения ЛА с использованием необходимого количества первичных траекторных измерений $K_{из.к.(набл)}$). В случае невыполнения условия блока 9 в блоке 10 проводится выбор из X_{n_i} вектора средств ТИ из условия $D_{X_{n_i}}(i) \geq D_{треб}$, т. е. дальность действия выбранных средств ТИ позволяет проводить траекторные измерения в i -й точке траектории. Далее в блоке 11 из выбранного набора средств выбирается средство $X_{N_{(i)}}^{(1)}$ по критерию минимума стоимости.

В блоке 12 алгоритма проводится определение номера измерительного пункта, где оптимальным образом можно разместить выбранное средство $X_{N_{(i)}}^{(1)}$ траекторных измерений.

Для рационального размещения планируемых новых средств ТИ на измерительных пунктах был использован специальный показатель – пространственный геометрический фактор (PDOP), который показывает ухудшение точности оценки ТИК пространственных координат обусловленное геометрией размещения пунктов ТИК. Данный показатель оценивается по следующей формуле:

$$PDOP = \sqrt{\text{trace}[\mathbf{H}^T \cdot \mathbf{H}]^{-1}} \quad (3)$$

где \mathbf{H} – матрица частных производных измеряемых параметров средствами ТИ по оцениваемым параметрам движения ЛА.

Описание дополнительного алгоритма рационального размещения планируемых средств ТИ на измерительных пунктах приведено на рисунке 2.

В блоке 1 алгоритма проводится ввод координат ИП и рассматриваемой i -й точки траектории ЛА. Далее в блоке 2 проводится формирование матрицы частных производных для всех рассматриваемых измерительных каналов для i -й точки траектории.

Затем в блоке 3 алгоритма проводится вычисление значения PDOP по формуле (3) при наличии всех измерительных пунктов F , наблюдающих ЛА в i -й точке траектории. Далее в блоках 5 и 6 проводится последовательное вычисление значения матрицы частных производных $PDOP_{M-1}(f)$ и по формуле (3) при условии отсутствия одного из ИП, где $f < F$.

Далее в блоках 9-12 проводится вычисление разности $\Delta(f)$ между значением PDOP при наличии всех ИП, наблюдающих ЛА в i -й точке траектории, и значениями PDOP, при условии отсутствия одного из ИП, по формуле $\Delta(f) = PDOP_M(f) - PDOP_{M-1}(f)$, где $f < F$.

В блоке 13 алгоритма проводится выбор ИП, у которого значение $\Delta(f)$ минимально. Исходя из проведенных расчетов на таком выбранном измерительном пункте целесообразно установить новое измерительное средство ТИ.

Далее, возвращаясь к алгоритму формирования рационального типажа новых средств траекторных измерений, необходимых для дооснащения наземного траекторного измерительного комплекса, управление передается на блок 9. В случае выполнения условия блока 9, управление передается на блок 13, где с использованием методики априорной оценки точности ТИК проводится оценка среднеквадратических погрешностей измерения составляющих вектора параметров движения ЛА $\Delta \hat{\Theta}$, т. е. $\hat{\sigma}_x(i), \hat{\sigma}_y(i), \hat{\sigma}_z(i), \hat{\sigma}_x(i), \hat{\sigma}_y(i), \hat{\sigma}_z(i)$ [5].

Далее в блоке 14 проводится вычисление интервального показателя точности ТИК $P\{(\Delta \hat{\Theta}(k))_{X_n} \subset B\} \geq P_d$ следующим образом.

В случае нормального закона распределения случайного вектора оценки параметров движения ЛА $\hat{\Theta}(k)$ в качестве показателей точности ТИК, характеризующих случайную составляющую погрешности оценки этого вектора, выступает его ковариационная матрица $\mathbf{Y}_{\hat{\Theta}}(k)$. При этом рассматриваются две априорно оцениваемые ковариационные матрицы $\mathbf{Y}_{\hat{\Theta}_1}(k)$ и $\mathbf{Y}_{\hat{\Theta}_2}(k)$

соответствующих векторов $\hat{\Theta}_1$ и $\hat{\Theta}_2$, которые характеризуют случайную составляющую погрешности оценки координат ЛА и составляющих вектора скорости ЛА.

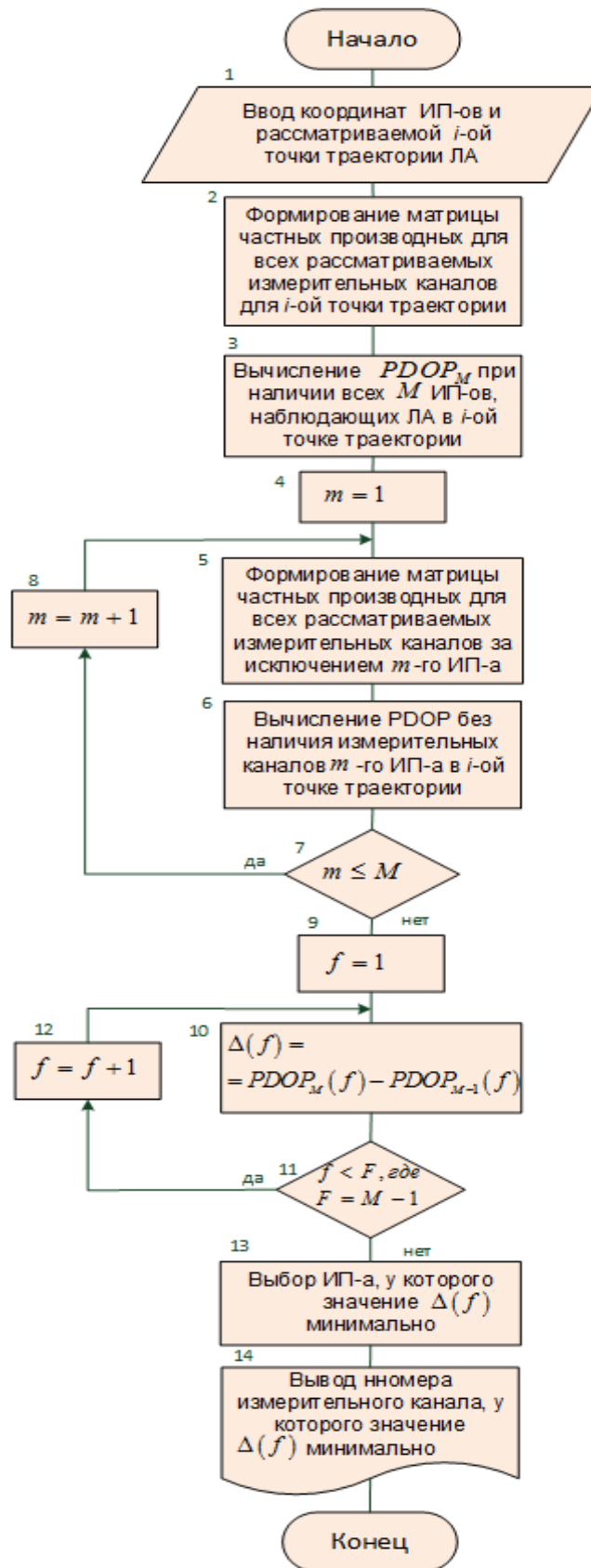


Рисунок 2 – Алгоритм рационального размещения планируемых средств ТИ на измерительных пунктах ТИК

На рисунке 3 представлены эллипсоид рассеяния погрешности оценки ТИК координат траектории полета ЛА и доверительная область требований $B_{эл}^3$, предъявляемых к точности траекторного измерительного комплекса.

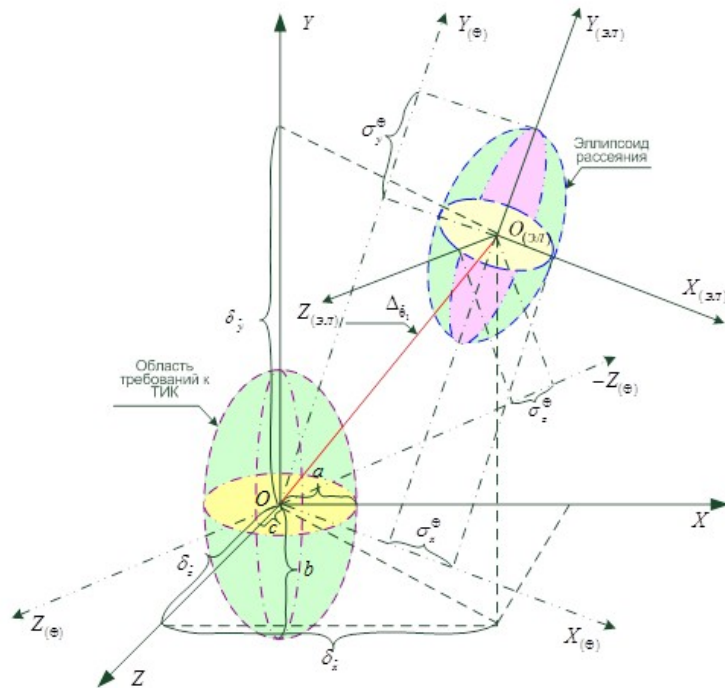


Рисунок 3 – Эллипсоид рассеяния погрешности оценки координат траектории полета ЛА и область требований к точности ТИК

В предположении, что случайные величины \hat{x} , \hat{y} и \hat{z} являются некоррелированными и имеют нормальный закон распределения в каноническом виде, вероятность события, заключающегося в том, что вершина случайного вектора ΔQ_1 попадает в рассматриваемый эллипсоид $B_{эл}^3$, определится следующей формулой [7, 8]:

$$P(\Delta \hat{\Theta}_1 \in B_{эл}^3) = \iiint_{B_{эл}^3} \frac{1}{(\sqrt{2\%ipi})^3 \sigma_{\hat{x}}^* \sigma_{\hat{y}}^* \sigma_{\hat{z}}^*} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x - \sigma_{\hat{x}})^2}{(\sigma_{\hat{x}}^*)^2} + \frac{(y - \sigma_{\hat{y}})^2}{(\sigma_{\hat{y}}^*)^2} + \frac{(z - \sigma_{\hat{z}})^2}{(\sigma_{\hat{z}}^*)^2} \right)\right) dx dy dz, \quad (4)$$

где $\sigma_{\hat{x}}$, $\sigma_{\hat{y}}$ и $\sigma_{\hat{z}}$ – систематические составляющие оценки погрешностей соответственно случайных величин \hat{x} , \hat{y} и \hat{z} ;

$\sigma_{\hat{x}}^*$, $\sigma_{\hat{y}}^*$ и $\sigma_{\hat{z}}^*$ – главные среднеквадратические отклонения соответственно случайных величин \hat{x} , \hat{y} и \hat{z} в координатах $O_{эл} X_{эл} Y_{эл} Z_{эл}$.

Определение значений главных среднеквадратических отклонений $\sigma_{\hat{x}}^*$, $\sigma_{\hat{y}}^*$, $\sigma_{\hat{z}}^*$ случайных величин \hat{x} , \hat{y} , \hat{z} может быть проведено путем приведения ковариационной матрицы $\mathcal{Y}_{\hat{\Theta}_1}$, полученной по результатам априорной оценки точности ТИК, к ее каноническому виду $\mathcal{Y}_{\hat{\Theta}_1}^*$ в соответствии со следующим преобразованием:

$$\mathcal{Y}_{\hat{\Theta}_1}^* = \begin{bmatrix} \lambda_{\hat{x}} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{\hat{y}} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{\hat{z}} \end{bmatrix} = [U_{\hat{\Theta}_1}^{(1)} : U_{\hat{\Theta}_1}^{(2)} : U_{\hat{\Theta}_1}^{(3)}] \cdot \mathcal{Y}_{\hat{\Theta}_1} \cdot [U_{\hat{\Theta}_1}^{(1)} : U_{\hat{\Theta}_1}^{(2)} : U_{\hat{\Theta}_1}^{(3)}]^T,$$

где $U_{\hat{\Theta}_1}^{(1)}$, $U_{\hat{\Theta}_1}^{(2)}$ и $U_{\hat{\Theta}_1}^{(3)}$ – собственные векторы ковариационной матрицы $\mathcal{Y}_{\hat{\Theta}_1}$;
 $\lambda_{\hat{x}}$, $\lambda_{\hat{y}}$ и $\lambda_{\hat{z}}$ – собственные значения этой ковариационной матрицы.

В случае рассмотрения вектора $\hat{\Theta}(k)$ параметров движения ЛА вида $\hat{\Theta} = [\hat{\Theta}_1; \hat{\Theta}_2]^T$ с некоррелированными компонентами, вероятность события, заключающегося в том, что вершина случайного вектора $\Delta \hat{\Theta}(k)$ попадает в рассматриваемый шестимерный эллипсоид $B_{эл}^6$, определится шестикратным интегралом вида [8].

$$P(\Delta \hat{\Theta} = [\Delta \hat{\Theta}_1; \Delta \hat{\Theta}_2]^T \subset B_{эл}^6) = \iiint_{B_{эл}^6} \left(\begin{array}{cc} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{x}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{x}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{x}}^*)^2}\right) & \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{y}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{y}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{y}}^*)^2}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{z}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{z}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{z}}^*)^2}\right) & \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{x}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{x}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{x}}^*)^2}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{y}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{y}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{y}}^*)^2}\right) & \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\hat{z}}^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x-\sigma_{\hat{z}}^*)^2}{(\sigma_{\hat{z}}^*)^2}\right) \end{array} \right) dx dy dz d\dot{x} d\dot{y} d\dot{z} \quad (5)$$

Здесь $\sigma_{\hat{x}}^*$, $\sigma_{\hat{y}}^*$ и $\sigma_{\hat{z}}^*$ – главные среднеквадратические отклонения соответственно случайных величин \hat{x} , \hat{y} и \hat{z} в координатах $O_{(эл)} X_{(эл)} Y_{(эл)} Z_{(эл)}$.

Поскольку область требования к точности ТИК, как правило, не совпадает с формой эллипсоида рассеивания, то имеются сложности в вычислении интегралов вида (4 и 5), т. е. оценки величины интервального показателя точности ТИК. Поэтому для вычисления интервального показателя точности ТИК могут быть использованы процедуры численного интегрирования с помощью, например, программного пакета Maple [9].

Далее в случае невыполнения условия блока 11 (значение вычисленного интервального показателя точности ТИК больше заданной доверительной вероятности P_d) управление передается последовательно на блок 16, который проверяет условие полного перебора новых средств ТИ из вектора X_{n_n} . При выполнении условия блока 16 управление передается на блоки 17, 18 и 19. В этих блоках выполняются аналогичные операции, которые проводятся в описанных блоках 10, 11 и 12, за исключением того, что в составе вектора $X_{n_n}^{(2)}$ отсутствует выбранное ранее средство $X_{n_n}^{(1)}$.

В случае невыполнения условия блока 16 проводится формирование предложений по разработке более точного наземного средства ТИ или использовании на данном участке траектории полета ЛА средств ТИ, использующих навигационное поле системы ГЛОНАСС или GPS.

Далее управление передается блок 22 и организуется переход к следующей точке траектории полета ЛА на интервал, где существенно начинает меняться значение геометрического фактора или хотя бы одно измерительное средство на рассмотренных измерительных пунктах перестает сопровождать летательный аппарат.

После исследования всех актуальных точек S-й траектории полета ЛА осуществляется переход к анализу следующей траектории полета ЛА. После окончания процедуры дооснащения всех измерительных пунктов новыми средствами ТИ происходит формирование обобщенного вектора $X_{n_n}(s)$ новых средств ТИ для обеспечения траекторных измерений по S-й траектории полета ЛА.

В блоке 25 алгоритма проводится формирование суммарного вектора новых средств ТИ $X_{n_n\Sigma}$ для успешного обеспечения испытаний образцов ВВТ с использованием ЛА, движущихся

по всем S траекториям полета. Блок 26 алгоритма предполагает удаление из вектора $X_{n,\Sigma}$ дублирующих однотипных средств ТИ, планируемых для размещения на всех измерительных пунктах ТИК. В блоке 27 осуществляется вывод рационального типажа $X_{n,(pac)}$ средств ТИ, необходимого для переоснащения ТИК испытательного полигона.

Рассмотренный методический подход к формированию рационального типажа новых средств траекторных измерений, необходимых для обеспечения испытаний перспективных образцов ВВТ, имеет следующие преимущества.

1. При формировании рационального типажа новых средств траекторных измерений используется разработанный и исследованный обобщенный интервальный показатель точности ТИК, позволяющий одновременно учитывать как требования к оценке координат ЛА, так и требования к оценке составляющих вектора скорости такого летательного аппарата.

2. В методическом подходе используется усовершенствованный алгоритм априорной оценки точности ТИК, позволяющий оценивать не только погрешности оценки координат ЛА, но и погрешности оценки составляющих вектора скорости в полигонной системе координат.

3. Методический подход позволяет практически автоматически последовательно оценивать обобщенный показатель эффективности ТИК во всех точках планируемых траекторий полета испытываемых ЛА или обеспечивающих испытания мишеней, оптимально расставлять новые средства ТИ по измерительным пунктам, а также добиваться при этом минимального расходования финансовых средств на совершенствование траекторной измерительной базы полигона.

Применение разработанного методического подхода позволит с требуемой достоверностью сформировать рациональный типаж новых средств траекторных измерений, необходимый для дооснащения наземного траекторного измерительного комплекса с целью выполнения требований по обеспечению испытаний перспективных систем вооружения. В рамках данной статьи невозможно представить результаты апробации данного методического подхода в связи с тем, что в подходе используется ряд обособленных методик и моделей, которые используют специфические исходные данные и реализованы в разных программных средах. Обобщенные данные о результатах апробации данного методического подхода будут опубликованы в следующей статье.

Список использованных источников

1. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Части 1, 2 / Под редакцией Буренка В.М. – М.: Граница, 2013.

2. Жданюк В.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Советское радио, 1978.

3. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / Под ред. П.А. Агаджанова, В.Е. Дулевича, А.А. Коростелева. – М.: Советское радио, 1969.

4. Бычков С.И., Лукьянов Д.П. Космические радиотехнические комплексы. – М.: Советское радио, 1967.

5. Гришин Ю.П. Радиотехнические системы. – М.: Высшая школа, 1990.

6. Найденов В.Г., Першин Е.В. Результаты исследования интервального показателя точности траекторного измерительного комплекса // Вооружение и экономика. – 2017. – № 3.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Академия, 2003.

8. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: КНОРУС, 2010.

9. Мансон Б.М. Maple Power Edithion. – М.: Филинь, 1998.

В.И. Бабенков, доктор военных наук,
профессор

Д.П. Гасюк, доктор технических наук,
профессор

В.А. Дубовский, кандидат технических
наук

Метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники

Предложен метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники, базирующийся на комбинации дерева событий и теории нечетких множеств. Для процессов создания и эксплуатации образцов вооружения и военной техники характерно наличие большого количества неопределенностей, обусловленных воздействием множества факторов различной природы, проявление которых приводит к возникновению рисков при принятии решений заказчиком на этапах жизненного цикла. Учет рисков при помощи точного математического аппарата весьма проблематичен и неудобен в использовании должностными лицами, поэтому разработка предлагаемого метода является актуальной, а его применение позволяет получить достоверные количественные оценки риска реализации управленческих решений на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники.

Жизненный цикл представляет собой достаточно сложный и долговременный проект по созданию, эксплуатации и дальнейшей утилизации образцов ВВТ. Длительность данного проекта может составлять несколько десятков лет и включает множество различных процессов, для которых характерно наличие большого числа воздействующих факторов и неопределенностей. Полностью учесть их не представляется возможным [1].

Фактически в реализации мероприятий ЖЦ образцов ВВТ заинтересованы две стороны [2-4]: органы военного управления как заказчик ВВТ (представитель заказчика) и предприятия промышленности как основные исполнители. Обозначенные участники являются элементами системы военной организации РФ и при функционировании преследуют общую цель, которая состоит в своевременном обеспечении Вооруженных Сил высококачественными образцами ВВТ. Однако на практике большая часть предприятий, являясь коммерческими организациями, преследует цель, которая состоит в получении прибыли. Поэтому потеря прибыли вследствие нарушения условий контракта по созданию образца ВВТ будет представлять собой риск исполнителя [5, 6]. В свою очередь риск заказчика (представителя заказчика) заключается в возможности невыполнения требований изложенных в тактико-технических требованиях (ТТТ) к образцу ВВТ, что повлечет недостижение требуемых параметров как образца ВВТ, так и его ЖЦ.

Первый указанный аспект мы оставим за рамками настоящего исследования, а оценивание риска будем рассматривать с позиций заказчика в связи с тем, что невыполнение требований к образцу ВВТ на протяжении его ЖЦ может привести к снижению уровня боеготовности частей и подразделений, а, следовательно, к возможному срыву выполнения поставленных задач или к неправильному расходу средств, выделяемых на техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации [7, 8].

На наш взгляд, весьма целесообразно, прежде чем перейти непосредственно к изложению сущности предлагаемого метода, пояснить значение понятия риска в рассматриваемом аспекте.

Под риском заказчика ВВТ будем понимать возможность невыполнения требований тактико-технического задания исполнителем из-за неопределенностей случайного характера, объективно существующих на этапах и стадиях ЖЦ.

При этом важно понимать, что наличие риска невыполнения требований заказчика вовсе не означает, что ЖЦ в целом или его отдельный отрезок не реализуем вообще. В этом случае лишь предполагается наличие неблагоприятных условий, не позволяющих выполнить требования заказчика в полном объеме. Поэтому представитель заказчика, выполняющий задачи по управлению ЖЦ образца ВВТ, обладая соответствующей оценкой риска, имеет возможность принимать более обоснованные решения при управлении ЖЦ, а также заранее спланировать необходимые меры по уменьшению негативных последствий тех или иных проявлений риска. Своевременная и правильная реализация данных мер способствует снижению уровня рисков до допустимых значений.

Перейдем непосредственно к изложению сущности предлагаемой идеи. Так, в нормативно-техническом обеспечении системной инженерии, регламентирующей содержание процессов ЖЦ систем установлены цели и варианты решений для типовых этапов (таблица 1), т. е. для каждого этапа предполагается 5 допустимых вариантов решений.

Таблица 1 – Этапы, цели и варианты решений

Этап ЖЦ	Цель	Вариант решения
Замысел	определить потребности заказчиков; исследовать концепции; предложить жизнеспособные решения	исполнение следующего этапа; продолжение этапа; переход к предыдущему этапу; задержка в исполнении проекта; остановка проекта
Разработка	уточнить требования к системе; создать проект решения; построить систему; провести верификацию и валидацию системы	
Производство	производство системы; инспектирование и тестирование	
Эксплуатация	использование системы для удовлетворения нужд заказчиков	
Поддержка эксплуатации	обеспечение поддерживаемых системных воз- можностей	
Снятие с эксплуатации	хранение, архивирование или списание системы	

Примечание: составлено Дубовским В.А. на основании ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288.

Таким образом, перед заказчиком возникает задача выбора варианта по дальнейшему развитию ЖЦ образца ВВТ, которое, как правило, сопряжено с принятием ошибочного решения и может привести к значительным временным задержкам и перерасходу выделяемых ресурсов. Решение данной задачи представляется возможным осуществить на основе количественных оценок принимаемых решений по выбору дальнейшего варианта развития ЖЦ образца ВВТ.

Ввиду наличия большого числа неопределенностей и факторов, влияющих на реализацию процессов ЖЦ, применение точного математического аппарата нецелесообразно, так как в ходе осуществления мероприятий по управлению ЖЦ представители заказчика в качестве оценок риска используют лингвистические переменные: «низкий», «средний», «высокий» и т. д.

Обозначим лингвистическую переменную n как «риск принятия решения на этапе ЖЦ», множеством для которой будет являться отрезок $[0,1]$, а множеством значений переменной n – терм-множество:

$$N = \{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9\}, \quad (1)$$

где N_1 – «чрезвычайно высокий риск»;

N_2 – «очень высокий риск»;

N_3 – «определенно высокий риск»;

N_4 – «повышенный риск»;

N_5 – «средний риск»;

N_6 – «определенно низкий риск»;

N_7 – «низкий риск»;

N_8 – «очень низкий риск»;

N_9 – «незначительный риск».

Данные переменные преобразуются в соответствующие нечеткие числа $N_i, i = \overline{1,9}$ с трапециевидными функциями принадлежности вида:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1; \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_3 < x < a_4; \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } x > a_4. \end{cases} \quad (2)$$

Заключение о риске решения делается на основании предпринятого действия, направленного на устранение выявленного несоответствия ТТТ к образцу ВВТ. При этом действия направленные на парирование возникающих несоответствий должны обеспечивать последовательную минимизацию риска принятия решения на этапах ЖЦ образца ВВТ.

Для этого были выбраны следующие действия:

X_1 – предупреждающее действие, предпринятое для устранения причины потенциального несоответствия или потенциально нежелательной ситуации;

X_2 – корректирующее действие, предпринятое для устранения причины обнаруженного несоответствия или другой нежелательной ситуации;

X_3 – разрешение на использование или выпуск продукции, которая не соответствует установленным требованиям;

X_4 – разрешение на отступление от исходных установленных требований к продукции до ее производства;

X_5 – коррекция, в виде действия предпринятого для устранения обнаруженного несоответствия;

X_6 – утилизация несоответствующей продукции, представляет собой действие в отношении несоответствующей продукции, предпринятое для предотвращения ее первоначального использования;

X_7 – переделка, действие, предпринятое в отношении несоответствующей продукции с тем, чтобы она соответствовала требованиям;

X_8 – снижение градации несоответствующей продукции с тем, чтобы она соответствовала требованиям, отличным от исходных;

X_9 – ремонт, представляющий собой действие, предпринятое в отношении несоответствующей продукции с тем, чтобы сделать ее приемлемой для предполагаемого использования.

Взаимосвязь и последовательность реализации описанных действий в виде дерева событий при невыполнении ТТТ к образцу ВВТ показана на рисунке 1.

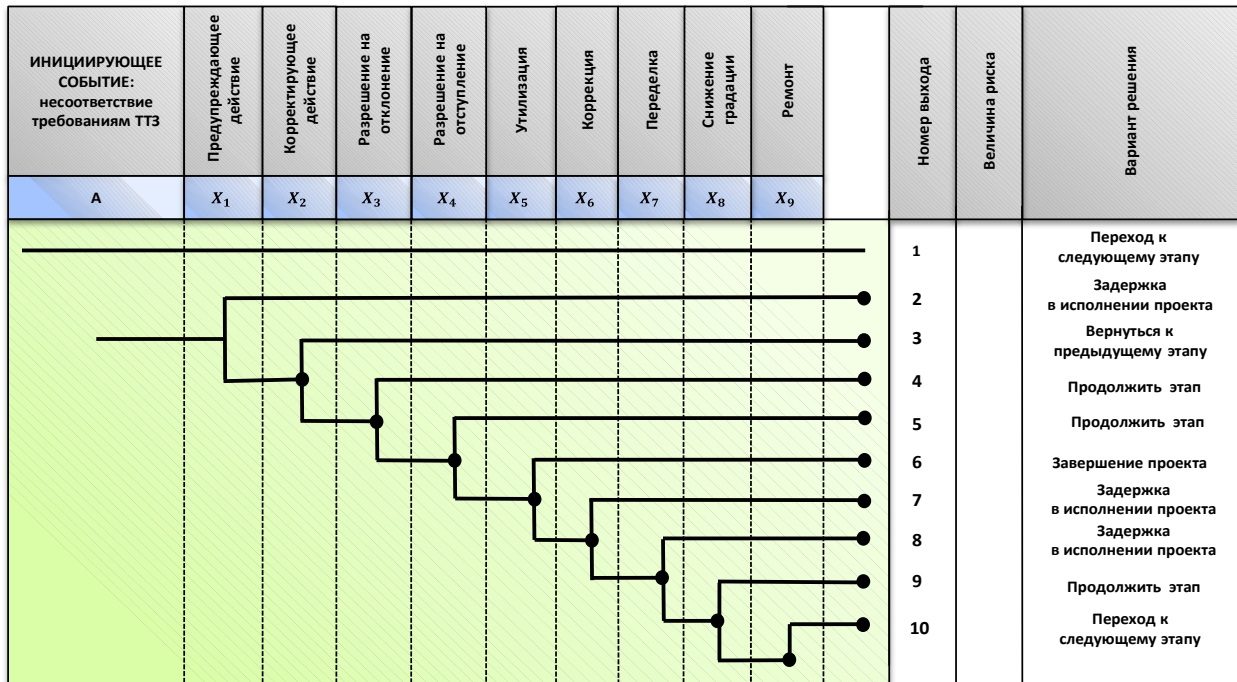


Рисунок 1 – Дерево событий при невыполнении ТТТ к образцу ВВТ (разработано Бабенковым В.И. и Гасюком Д.П.)

Каждому действию $X_i, i=1,2,\dots,9$ соответствует определенное значение затрачиваемых технико-экономических ресурсов, представленных в виде лингвистической переменной, состоящей из следующих термов:

B_{i1} – «несущественные затраты ресурсов»;

B_{i2} – «низкие затраты ресурсов»;

B_{i3} – «приемлемые затраты ресурсов»;

B_{i4} – «высокие затраты ресурсов»;

B_{i5} – «неприемлемые затраты ресурсов».

В качестве допущения будет принято, что нечеткое число B_i , представленное в виде лингвистической переменной и параметризованное четверкой чисел $x=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ имеет трапециевидную функцию принадлежности вида (1).

Определенные экспертные оценки для каждого из термов для удобства сведены в таблицу 2, после чего необходимо выполнить переход от технико-экономических показателей $X=\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\}$ к характеристикам риска невыполнения требований ТТЗ $N=\{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9\}$.

В целях выработки правил перехода от значений затрачиваемых технико-экономических ресурсов к лингвистическим переменным N_1 необходимо провести ранжирование предпринимаемых действий по степени их вклада в уменьшение риска невыполнения ТТТ к образцу ВВТ,

т. е. сопоставить каждому действию его вес q_i , определяющий вклад показателя в меру риска невыполнения ТТТ.

Таблица 2 – Экспертные оценки затрат технико-экономических ресурсов (вариант)

Предпринятое действие	Терм			
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}
X_1	(0 ; 0 ; 1 ; 0,3)	(0 ; 0,1 ; 1 ; 0,5)	(0,2 ; 0 ; 1 ; 0,2)	(0 ; 0,1 ; 1 ; 0,4)
X_2	(0,5 ; 0 ; 0,5 ; 1)	(0,8 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,3)	(0,7 ; 0 ; 1 ; 0,1)	(0,4 ; 0,3 ; 0,8 ; 0,1)
X_3	(0,9 ; 0,5 ; 0,7 ; 0)	(0,2 ; 0,9 ; 0,4 ; 0,2)	(0,3 ; 0,2 ; 0,7 ; 0,2)	(0,2 ; 0,1 ; 0,6 ; 0,9)
X_4	(0,2 ; 0,3 ; 0 ; 0,6)	(0,8 ; 0,7 ; 0,4 ; 0,6)	(0,4 ; 0,3 ; 0,2 ; 0,6)	(0,2 ; 0,8 ; 0,3 ; 0,8)

Примечание: адаптировано Дубовским В.А. на основании анализа [9].

В теории полезности установлены следующие подходы для определения приоритетов [9, 10]:

1) в случае если приоритет предпринимаемых действий характеризуется простым линейным соотношением $q_1 \geq q_2 \geq \dots \geq q_n$, в таком случае q_i будет рассчитываться по правилу Фишберна:

$$q_i = \frac{2(n-i+1)}{(n-1)n} \tag{3}$$

2) если установлено строгое соотношение порядка $q_1 > q_2 > \dots > q_n$, то для определения веса q_i следует обратиться к зависимости:

$$q_i = \frac{n-i+2}{2^i n} \tag{4}$$

3) если для величин q_i установлено усиленное линейное отношение порядка $q_i \geq \sum_{j=1}^{i-1} q_j$, $q = \overline{1, l}$, то для расчета значимости i -го действия рекомендуется пользоваться выражением вида:

$$q_i = \frac{2^n - 1}{2^l - 1} \tag{5}$$

Далее необходимо определить среднее значение экспертных оценок B_i для каждого варианта предпринимаемого действия X^n :

$$\bar{B}_i = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} \tag{6}$$

Согласно [9], правило перехода от технико-экономических характеристик предпринимаемых действий к весам термов лингвистических переменных при предлагаемой системе весовых показателей производится с помощью зависимости:

$$R_k = \sum_{i=1}^9 q_i u_{ki}; \quad k = \overline{1, 9} \tag{7}$$

Определив веса всех термов лингвистической переменной, представляется возможным рассчитать значение:

$$n = \sum_{k=1}^5 R_k n_k, \quad k = \overline{1, 5} \tag{8}$$

Описанная процедура формирования лингвистических оценок риска представлена на рисунке 2.

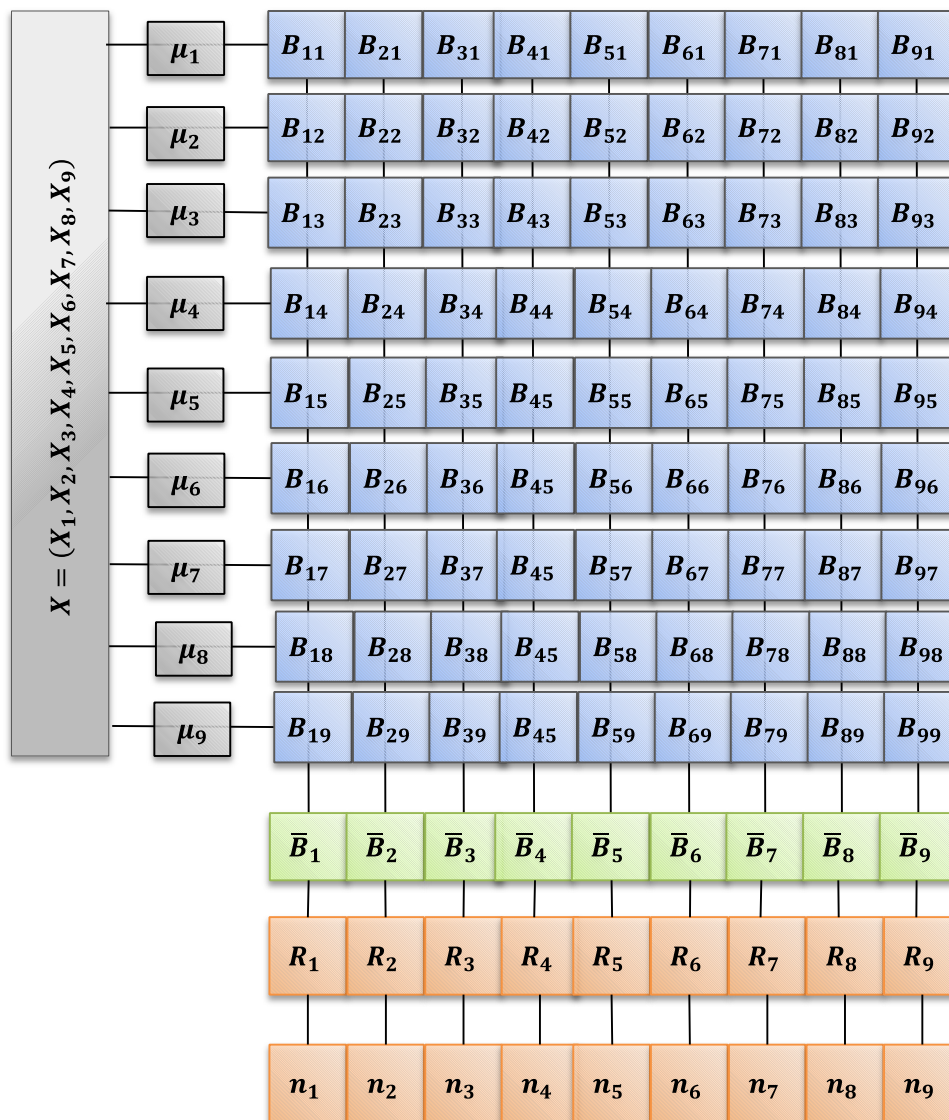


Рисунок 2 – Схема формирования лингвистических оценок риска невыполнения ТТТ к образцу ВВТ (разработано Гасюком Д.П. и Дубовским В.А.)

Подводя итог можно сделать следующие выводы:

1) реализация процессов жизненного цикла образцов ВВТ существенным образом зависит от принимаемых должностными лицами решений, при этом парирование возникающих рисков позволяет значительно уменьшить вероятность их негативного влияния;

2) вопросы оценивания риска на этапах ЖЦ образцов ВВТ являются крайне актуальными. Вполне очевидно, что наличие качественных и количественных оценок риска, а также их правильная интерпретация позволяет представителям заказчика более рационально распределять усилия при создании и эксплуатации образцов ВВТ;

3) дальнейшее совершенствование методического сопровождения реализации мероприятий ЖЦ образцов ВВТ, предусматривающих получение оценок риска, необходимо осуществлять при помощи специального программного обеспечения, позволяющего автоматизировать проводимые расчеты.

Список использованных источников

1. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. – 2014. – № 2 (27).

2. Буренок В.М., Буравлев А.И. Методические основы обоснования количественных параметров Вооруженных Сил по критерию «эффективность-стоимость» // Вооружение и экономика. – 2014. – № 4 (29).
3. Буренок В.М. Концепция развития системы вооружения как научная основа обеспечения сбалансированного инновационного развития Вооруженных сил Российской Федерации // Вооружение и экономика. – 2017. – № 4 (41). – С. 3-8.
4. Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Методические подходы к верификации технико-экономических исходных данных, используемых для формирования плановых документов // Известия РАН. – 2017. – № 3 (98). – С. 134-140.
5. Викулов С.Ф., Хрусталева Е.Ю. Методология оценки и повышения эффективности оборонного потенциала государства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 533-556.
6. Серб В.Я. Моделирование недопоставок материальных средств войскам при нарушении договорных обязательств // Наука и военная безопасность. – 2016. – № 2 (5). – С. 97-101.
7. Топоров А.В., Бабенков В.И., Богданов Д.Ю. Квалиметрический подход к эффективности системы материально-технического обеспечения войск (сил) // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2019. – № 3 (108). – С. 29-38.
8. Топоров А.В., Коновалов В.Б., Бычков А.В. Техническая оснащенность системы материально-технического обеспечения ВС РФ как одна из основ военной безопасности государства // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2018. – № 3 (103). – С. 3-7.
9. Волков В.Ф., Толмачев А.А. Методика учета риска и неопределенности на ранних стадиях жизненного цикла разрабатываемой автоматизированной системы управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2017. – Т. 9. – № 3. – С. 63-70.
10. Бочков А.П. Модели и методы и управления развития технических систем: Учебное пособие. – СПб.: Союз. – 2003. – 288 с.

Н.А. Сосновских
Д.Н. Малышев
А.Н. Щипанов, кандидат технических наук

Научно-технический задел и практическая целесообразность модернизации гусеничных шасси

В статье рассматриваются особенности самоходных гаубиц 2С3М, 2С19, их модернизационный потенциал, а также модернизационный потенциал шасси данных изделий.

Одним из залогов успешной и боеспособной армии является наличие современных образцов вооружений и военной техники. Поддержание парка военных гусеничных машин (ВГМ) на высоком научно-техническом уровне развития является технологически и финансово очень сложной задачей. Производственные мощности головных изготовителей ВГМ и возможности их основных поставщиков ограничены, а это значит изготовить необходимое количество современных машин для замены существующего парка за короткий период времени весьма проблематично.

Как показывает мировой опыт, помимо пополнения парка новыми изделиями, экономически рациональным способом повышения тактико-технических характеристик (ТТХ) ВГМ является поэтапное проведение модернизации ранее выпущенных изделий. Показательным примером поэтапного проведения работ по модернизации ВГМ, а именно самоходных артиллерийских установок с целью повышения их ТТХ, является опыт США по совершенствованию 155-мм самоходной гаубицы (СГ) М109.

Тенденции развития и модернизации ВГМ направлены на ряд факторов: улучшение защищенности (увеличение бронезащиты, введение динамической защиты, размещение активной защиты, либо усовершенствование имеющейся, разработка и размещение на изделии средств снижения заметности). Параллельно с увеличением защищенности идет улучшение огневого могущества (применение более мощных зарядов и снарядов, установка нового, более мощного орудия улучшенной баллистики и увеличение скорострельности). Улучшение защищенности, увеличение огневого могущества требует соответствующих скоростных характеристик и маневренности, а это оснащение ВГМ более мощной силовой установкой (двигатель-трансмиссия) и создание ходовой части с подвеской, обеспечивающей необходимую плавность хода при заданной скорости. Максимально обеспечить отношение средней скорости по условиям поддрессирования $V_{ср.п.}$ к скорости по тяговым возможностям $V_{ср.т.}$ не ниже 0,95.

Учитывая последние тенденции в развитии энергосберегающих технологий, современные ВГМ потребуют улучшения энергобаланса машины (применение энергосберегающих современных компонентов и приборов). Также очень важным моментом при создании современных ВГМ и модернизации существующих является минимизирование человеческого участия и воздействия на механизмы изделия – автоматизация.

Любая модернизация влечет за собой увеличение массы машины, а иногда даже и габаритов, что напрямую связано с увеличением воздействия на узлы шасси: ходовая часть и трансмиссия. Чтобы ходовая часть ВГМ выдерживала воздействующие усилия и выполняла возложенные на нее функции, необходимо равномерно распределять нагрузки между узлами, что приводит к увеличению количества этих узлов. Также часто увеличение нагрузок приходится компенсировать упрочнением узлов за счет роста габаритных показателей, что приводит к увеличению

массы узлов. Увеличение количества, массы и габаритов узлов ходовой части неблагоприятно сказывается на ВГМ в целом и приводит к проблемам в компоновке и в обеспечении требований транспортировки, к увеличению веса неподрессоренных частей и изделия в целом, в ремонтпригодности подвески, а также в изготовлении и монтаже. Таким образом, при модернизации образцов ВГМ инженерам необходимо максимально учесть все требования, предъявляемые к системам поддрессорования, исходя из современных тенденций развития вооружения и военной техники.

Для определения основных возможных направлений модернизации самоходных артиллерийских орудий Российской Федерации, а также направлений модернизации шасси ВГМ проведен сравнительный анализ шасси (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ параметров САО производства АО «Уралтрансмаш»

Параметр	Наименование ВГМ			
	СГ 2С3М	СМ 2С4	СГ 2С19М2	САО 2С35
Масса изделия полная, кг	27 500	27 500	43 500	51 000
Расположение МТО	переднее	переднее	заднее	заднее
Двигатель	В-59 УМС	В-59 УМС	В-84 АМС	В-92 С2
Мощность, л.с.	520	520	780	1000
Удельная мощность, л.с./т	19	19	18,1	19,6
Максимальная скорость по шоссе, км/ч	63	63	60	60
Максимальный угол подъема, град.	30	30	25	25
Максимальный боковой крен, град.	25	25	20	20
Преодолеваемый брод, м	1,05	1,05	1,2	1,2
Запас хода, км	500	500	500	500
Тип подвески	торсионная			
Количество подвесок, шт.	6	7	6	6
Диаметр торсиона, мм	46	46	52	52
Количество амортизаторов, шт.	4	4	6	8
Тип амортизаторов	телескопический			
Длина балансира, мм	360	360	350	350

Из приведенной таблицы видно, что основные ВГМ артиллерии калибра 152,4 мм СГ 2С19М1, 2С19М2 «Мста-С» и СГ 2С3М «Акация», имеют принципиально разные компоновочные схемы и весовые характеристики. СГ 2С19 и ее модификации, а также САО 2С35 «Коалиция-СВ», которое находится в стадии разработки на этапе испытаний, выполнены на танковой базе, и по своим массогабаритным характеристикам значительно тяжелее СГ 2С3М и имеют ограниченные возможности авиатранспортировки. Они могут перевозиться только тяжелыми военно-транспортными самолетами Ан-22 «Антей» и Ан-124 «Руслан», парк которых сравнительно невелик. СГ 2С3М и самоходный миномет (СМ) 2С4 выполнены в промежуточной весовой категории до 28 тонн и пригодны для перевозки самым массовым современным самолетом Ил-76МД Военно-транспортной авиации, что является значительным преимуществом.

СГ 2С3М относится к САО предыдущего поколения, СГ была принята на вооружение в 1975 году и на сегодня может быть признана технически и морально устаревшей, не соответствующей современному уровню военной техники. Однако СГ 2С3М является наиболее массовой СГ, состоящей на вооружении Российской Армии: не менее 1000 единиц, из них более 60% требуют проведения ремонта различной сложности. Модернизационный потенциал СГ 2С3М не так велик, как хотелось бы разработчикам. Чтобы поднять ТТХ СГ 2С3М до уровня современных ВГМ в части шасси, потребуется замена используемой силовой установки (двигатель-трансмис-

сия) на более мощную, а также модернизация систем, обеспечивающих работу двигателя (система охлаждения, система очистки воздуха, система выхлопа, топливная система и др.).

Одновременно с этим потребуются усиление узлов ходовой части (торсионной подвески), диссипативных устройств, опорных катков и гусеницы. Вопросы по усилению подвески и гусеничных движителей в настоящее время проработаны довольно широко. Имеется и освоена на многих предприятиях технология изготовления высоконагруженных торсионных валов из торсионной стали, работающих при напряжениях τ до 1548 МПа, что позволяет поднять уровень динамических ходов подвески.

Созданы и испытаны, а также имеются в разработке, различные конструкции опорных катков, обеспечивающих при общих равных параметрах с имеющимися катками большую несущую способность за счет более равномерного распределения нагрузки и снижения теплонапряженности резинового массива. Широко используются фрикционные регулируемые диссипативные устройства, позволяющие обеспечивать необходимое время гашения колебаний корпуса ВГМ, что благоприятно сказывается на остановке корпуса при колебательных движениях СГ после стрельбы из орудия. Также развитие активных систем подрессоривания с изменяемыми в зависимости от положения корпуса и внешних условий характеристиками обеспечит шасси ВГМ высокоскоростную работу при марше.

Внедрение всех этих инноваций в СГ 2С3М повлечет значительный передел и перекомпоновку всей машины, а также определенные виды испытаний, для подтверждения улучшенных ТТХ и правильности принятых конструктивно-технологических решений. Верным будет назвать это глубокой модернизацией, реализовать которую при проведении обычного капитального ремонта не представляется возможным. Провести глубокую модернизацию возможно при проведении опытно-конструкторской работы (ОКР), в результате которой появиться образец ВГМ, с ТТХ превосходящими многие аналоги в мире.

Модернизационный потенциал СГ 2С19 «Мста-С» достаточно велик. На период разработки СГ 2С19 имела ТТХ, в основном превышающие показатели зарубежных аналогов. В 2001 году СГ «Мста-С» была оснащена автоматизированной системой управления наведением и огнем АСУНО. Изделие получило индекс 2С19М1. Оснащение АСУНО обеспечило автономность применения СГ.

Дальнейшее проведение работ по модернизации СГ, выполненное в рамках ОКР «Дилемма», обеспечило повышение скорострельности до 10 выстрелов в минуту, возможность выполнения режима «огневого налета» одним орудием, т. е. одновременное поражение несколькими выстрелами из одного орудия. СГ была оснащена модернизированным орудием 2А64М2 с аппаратурой контроля экстракции гильзы, программируемым комплексом управления механизмами заряжания КУМЗ, автоматизированным рабочим местом водителя АРМВ, автоматизированной системой управления наведением и огнем АСУНО-М с улучшенными точностными характеристиками. Улучшены условия обитания экипажа за счет оснащения САО автономным агрегатом питания с кондиционерной приставкой АП-18ДМ. Снижена заметность в радиолокационном, тепловом и оптическом диапазонах. Изделие, принятое в 2014 году на вооружение, получило индекс 2С19М2.

В современных условиях реальным остается то, что СГ 2С19 и ее модификации 2С19М1, 2С19М2 будут составлять основу самоходной артиллерии еще не одно десятилетие. В связи с этим становится актуальной задача повышения ТТХ шасси СГ 2С19, т. к. при предыдущих работах модернизация шасси СГ не проводилась.

Основными направлениями модернизации шасси СГ 2С19М2 будут являться увеличение маневренности изделия и снижение времени нахождения на огневой позиции, за счет применения более мощной силовой установки (двигатель-трансмиссия). Уже имеются наработки по при-

менению двигателя В-92С2 (1000л.с.), что обеспечит повышение удельной мощности СГ в целом с 18,1 л.с./т до 23,3 л.с./т, повышение разгонных характеристик и средней скорости движения. Также двигатель В-92С2 при увеличенной мощности более экономичен (таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики дизельных двигателей В-84АМС и В-92С2

Модель	Мощность, кВт (л.с.)	Частота вращения, c^{-1} (об./мин)	Удельный расход топлива, г/кВт.ч (г/л.с.ч)	Габариты, мм
В-84АМС	574 (780)	33,3 (2000)	245 (180)	1480/869/902
В-92С2	735 (1000)	33,3 (2000)	212 (156)	1466/896/902

Установка двигателя В-92С2 позволит обеспечить унификацию моторно-трансмиссионного отделения СГ 2С19 с отделением основного боевого танка Т-90. Будут унифицированы трансмиссия и система гидроуправления и смазки трансмиссии, а также системы смазки двигателя, охлаждения, питания воздухом и др.

Модернизация ходовой части может включать дополнительную установку фрикционных регулируемых диссипативных устройств, позволяющих обеспечивать необходимое время гашения колебаний корпуса ВГМ, что очень благоприятно сказывается на остановке корпуса при колебательных движениях СГ после работы орудием.

Данные мероприятия можно проводить в рамках капитального ремонта СГ с модернизацией, предварительно проверив и испытав принятые конструкторские решения на соответствующих испытаниях. Характеристики СГ 2С19 с модернизированным шасси и сравнительные характеристики СГ 2С19 с модернизированным шасси и САУ зарубежных конкурентов приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Характеристики СГ 2С19 с модернизированным шасси

Характеристика	Значение
Вес в боевом положении, кг	43500
Скорость движения, км/час:	
-максимальная по шоссе	60
-средняя:	
-по грунтовой дороге	35
-по шоссе	от 35 до 50
Запас хода по топливу и маслу при движении по шоссе, км	500
Преодолеваемые препятствия, м:	
• ширина рва	2,6-2,8
• высота стенки	0,5
• глубина брода	1,2
• макс. угол подъема, град.	25
• макс. угол крена, град.	20
Двигатель	Дизельный многотопливный В-92С2
Мощность, кВт (л.с.)	736 (1000)
Удельная мощность, л.с./т	23,3

Таблица 4 – Сравнительные характеристики СГ 2С19 с модернизированным шасси и САУ зарубежных конкурентов

Параметр	СГ 2С19, Россия	САУ PzH 2000, Германия	САУ К-9, Южная Корея	САУ M109A6Р1М, США
1	2	3	4	5
Боевая масса, кг	43500	55300	47000	35380
Удельная мощность, л.с./т	23,3	18	21,3	16,9

Таблица 4 (продолжение)

1	2	3	4	5
Двигатель, мощность, л.с.	Многопливный дизель В-92С2, 1000	Дизель MTU 881, Ка-500, 1000	MTU MT 881 Ка-500, 1000	Камминс V903, 600
Макс скорость по шоссе, км/час	60	67	67	61
Запас хода, км	500	420	480	322
Преодолеваемые препятствия, м:				
• ширина рва	2,8	3	2,8	2,5
• высота стенки	0,5	1	1	0,9

Список использованных источников

1. Балдин В.А. Теория и конструкция танков. – М., 1975.

А.А. Адамов, кандидат экономических наук

Г.В. Бабкин

Место и роль диверсификации и импортозамещения оборонного производства в обеспечении военной безопасности Российской Федерации

В статье проведен анализ основных факторов, воздействующих на систему обеспечения военной безопасности Российской Федерации, возникающих по ходу развития процессов диверсификации и импортозамещения в отечественном оборонно-промышленном комплексе, на основе чего обоснована необходимость повышения уровня управляемости этих процессов с целью недопущения снижения уровня обеспечения военной безопасности страны.

Многофакторность процесса парирования угроз военной безопасности страны предопределяет высокую уязвимость системы ее обеспечения, в структуру которой входят помимо чисто военных, еще политико-дипломатические, экономические, идеологические и другие структуры, функционирующие по единому замыслу в интересах осуществления защиты жизненно важных интересов личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз, связанных с применением военной силы или угрозой ее применения. С учетом этого изменения даже в одной из таких структур могут создать проблемы обеспечения устойчивого функционирования этой системы, а если такие изменения затрагивают несколько из них, то проблемы могут усугубиться многократно. Именно это сегодня и происходит, поскольку актуализировавшиеся в последние годы процессы диверсификации и импортозамещения затрагивают военные, экономические, научно-технические, управленческие, организационные, информационные и другие аспекты функционирования большинства организационных структур системы обеспечения военной безопасности. Поэтому важно уточнить место и роль этих процессов в системе обеспечения военной безопасности.

Отметим, что с практической точки зрения диверсификация и импортозамещение могут рассматриваться как процессы (последовательная смена явлений, состояний в развитии чего-нибудь), так и как организационно-экономические механизмы, поскольку предполагают наличие организационно-экономических систем, в своей совокупности обеспечивающих выполнение определенной функции – в данном случае, преобразование научно-технического потенциала оборонных предприятий в фактор увеличения выпуска продукции гражданского назначения (в случае диверсификации) и отечественных аналогов продукции военного и гражданского применения иностранного производства (в случае импортозамещения). Причем эти процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены, поскольку одновременно протекают в одних и тех же организационных структурах, хотя и с различной интенсивностью в отдельные периоды развития страны (в предыдущем цикле – в период финансово-экономического кризиса 2008-2009 гг. – необходимость диверсификации декларировалась более активно, чем необходимость импортозамещения). Это обуславливает необходимость комплексного рассмотрения роли и места этих процессов в функционировании системы обеспечения военной безопасности Российской Федерации.

Отметим, что термин диверсификация имеет длительную историю и большое многообразие определений. Так [1] дает такое определение: диверсификация (позднелат. *diversificatio* – изменение, разнообразие, и от лат. *diversus* – разный + *facere* – делать») – одна из форм концентрации капитала. Диверсифицируя свое производство, фирмы проникают в новые для себя отрасли и постепенно превращаются в многоотраслевые комплексы. Такая трактовка в различных вари-

ациях используется и в современной экономической литературе, характеризуя, прежде всего разнообразие видов экономической и производственной деятельности хозяйствующих субъектов различного масштаба. В то же время при применении в последнее время этого термина к оборонно-промышленному комплексу он зачастую применяется в смысле, имеющем определенное сходство с термином «конверсия». Такое понимание этого термина вытекает из контекста его использования в научной литературе и публицистике: сокращение объемов оборонных заказов и увеличение номенклатуры выпускаемой гражданской продукции с использованием накопленных оборонными предприятиями научно-технического и производственно-технологического потенциалов (НТПТП). При такой трактовке термин «диверсификация» существенно отличается от энциклопедического определения.

Поэтому в данной работе будем ориентироваться на определение этого термина, приведенное в законопроекте о диверсификации в оборонно-промышленном комплексе (ОПК), внесенном в Государственную Думу, в котором диверсификация производства в ОПК определяется как стимулирование производства новых видов высокотехнологичной промышленной продукции гражданского назначения¹. Этим законопроектом предполагается, что правительство ежегодно будет утверждать план по диверсификации, который будет включать, в частности, меры по взаимодействию с кредитными учреждениями для получения заемных средств, осуществлению централизованных государственных и муниципальных закупок, предоставлению субсидий на финансирование разработок.

В отличие от термина «диверсификация», термин «импортозамещение» применительно к оборонно-промышленному комплексу применяется в традиционном для экономической науки смысле: как замещение импорта товарами, произведенными внутри страны. Для замещения импорта национальными товарами могут быть использованы протекционистские методы регулирования: тарифные и нетарифные [2]. В таком понимании этот термин и будет применяться в данной работе.

Рассмотрим различные аспекты проявления процессов диверсификации и импортозамещения в интересах определения их роли и места в системе обеспечения военной безопасности Российской Федерации.

1. В части военных аспектов функционирования механизма обеспечения военной безопасности страны, эти процессы проявляются в следующем.

Диверсификация оборонного производства существенно изменяет условия функционирования одного из объектов военно-технической политики Российской Федерации – оборонно-промышленного комплекса, что способно внести существенные изменения в механизм технического оснащения ВС РФ. В частности, сложившаяся к сегодняшнему дню высокая зависимость оборонных предприятий от объема заключенных с ними оборонных контрактов привела к тому, что они вынуждены заключать такие контракты даже при их невысокой рентабельности (в то время, как в нефтегазовом секторе, металлургии рентабельность составляет 30-40%; в ОПК по прямым госконтрактам при исполнении сложной техники она составляет от 3 до 8%, чего недостаточно для устойчивого развития в современных условиях²).

Высокий уровень зависимости оборонных предприятий от государственных заказчиков сформировал у них соответствующую модель поведения: соглашаться на любые условия государственных контрактов и тактико-технические требования (ТТТ) к создаваемым образцам вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) с последующей корректировкой условий заключенных госконтрактов и ТТТ. Например, контракт Минобороны России, заключенный в

1 Законопроект о диверсификации в ОПК внесен в Госдуму // ИНТЕРФАКС, 12 мая 2020 г.

2 Швабауэр Н. Уральские оборонщики высказали недовольство ценообразованием госзаказа // Российская газета. – 2020. – 19 марта.

2012 году с ульяновским заводом «Авиастар-СП» на поставку 39 Ил-76МД-90А (на сумму около 140 млрд руб.) пришлось в 2020 году перезаключить на новых, более выгодных для предприятия условиях (при стоимости самолета в среднем по 3,6 млрд руб. условия прежнего контракта приносили заводу около 1 млрд руб. убытков). По новому контракту цена за изделие варьируется в пределах 4,5-5 млрд руб. при меньшем количестве поставленных самолетов¹. Таким образом, изначально выгодные для государственного заказчика и невыгодные для поставщика условия контракта в дальнейшем обернулись проблемами как для госзаказчика, так и для предприятия, решение которых привело к существенному (в данном случае, более, чем на 30%) повышению стоимости образцов ВВСТ.

А если к этим затратам добавить затраты государства, осуществляемые вне рамок государственного оборонного заказа (ГОЗ) на поддержку оборонных предприятий (в том числе через частичную или полную оплату процентов по кредитам, реструктуризацию долгов и т. д.), то создание образцов ВВСТ становится для государства весьма накладным. А такие дополнительные затраты немалы – например, в 2016 году были погашены кредиты оборонных предприятий на сумму порядка 800 млрд руб., в конце 2017 года на досрочное погашение кредитов ОПК за счет федерального бюджета было выделено еще 200 млрд руб.², в 2019 году было принято решение о реструктуризации долгов ОПК в размере 750 млрд руб., половина из которых будет списана³. Эти затраты, фактически, представляют собой компенсацию потерь ОПК, обусловленных невыгодными для предприятий условиями государственных оборонных контрактов.

Появление новых источников развития оборонных предприятий за счет выхода на рынки гражданской продукции при развитии диверсификации способно снизить их зависимость от государственных заказчиков, что приведет к изменению модели поведения оборонных предприятий и будет способствовать их равноправию при взаимоотношениях с государственными заказчиками. Это, во-первых, потребует от всех органов военного управления (потребителей, довольствующих и заказывающих органов) поиска новых способов повышения интереса оборонных предприятий к заключению оборонных контрактов на нужных государственным заказчикам условиях – прежде всего, цены единицы продукции, а во-вторых, – может привести к проблемам с размещением ГОЗ (за счет отказа оборонных предприятий от участия в соответствующих конкурсах).

С точки зрения обеспечения военной безопасности развитие этой тенденции может привести к торможению в развитии научно-технического и производственно-технологического потенциалов оборонного характера с последующей утратой сформировавшихся оборонных компетенций (из-за их невостребованности в результате сокращения ГОЗ). При наличии развитой конкурентной среды, такая тенденция не представляла бы серьезной опасности, но сегодня, когда с образованием государственных корпораций и интегрированных структур различного вида конкурентная среда сужена до единственных поставщиков (среди них размещается более 80% стоимости ГОЗ), это чревато утратой возможности создания перспективных образцов ВВСТ.

Таким образом, диверсификация как процесс имеет разнонаправленное влияние на механизм обеспечения военной безопасности, что требует контроля за его развитием со стороны органов государственного и военного управления и рационального управления применяемыми при этом организационно-экономическими механизмами. Такие меры необходимы, чтобы:

исключить опасность деградации отечественного ОПК при сокращении объемов ГОЗ;

1 Костринский Г. Минобороны переоценило транспортные самолеты. Ведомство смягчило условия контракта на поставку Ил-76МД-90А // Коммерсантъ. – 2020. – 28 мая.

2 Джорджевич А., Ефимова М., Хачатурян А. Все для фронта, все под проценты. Спишут ли оборонным предприятиям долги на 700 млрд рублей? // Новая газета. – 2019. – 23 июля.

3 ТАСС, 5 марта 2020 г.

обеспечить такой характер инновационно-инвестиционной деятельности оборонных предприятий, при котором наращивание НТПТП в интересах успешной диверсификации, обеспечивало его доведение до уровня, позволяющего создавать при необходимости образцы ВВСТ с требуемыми тактико-техническими характеристиками;

модель поведения оборонных предприятий при их взаимодействии с государственными заказчиками обеспечивала эффективное размещение ГОЗ и его полное выполнение;

в оборонно-промышленном комплексе Российской Федерации сохранялся и развивался такой набор оборонных компетенций, который обеспечивал бы решение всего комплекса задач технического оснащения ВС РФ;

обеспечивался уровень конкуренции в ОПК, прежде всего в части составных частей и элементов, способствующий эффективности контрактно-конкурсного механизма размещения оборонных заказов.

Что касается импортозамещения, то, как известно, этот процесс возник как реакция на новые геополитические условия и стал следствием гипертрофированных надежд на вовлечение Российской Федерации в процессы глобализации, результатом которых стала недопустимо высокая доля импортных комплектующих, сырья и материалов, применяемых в российских образцах ВВСТ. Поэтому импортозамещение по своей сути непосредственно способствует повышению военной безопасности страны и в связи с этим с военной точки зрения должно всемерно поддерживаться.

2. В части экономических аспектов.

Возможность реализации процесса диверсификации обусловлена достижением системой обеспечения военной безопасности такого состояния, которое позволяет противостоять как уже известным, так и новым вызовам военного характера (в том числе за счет угрозы нанесения неприемлемого ущерба любому агрессору накопленными в ВС РФ военно-техническими средствами). Соответственно, это делает возможным снижение темпов роста государственного оборонного заказа с направлением высвободившихся ресурсов на решение иных задач, что позволит улучшить макроэкономическое положение Российской Федерации со всеми положительными следствиями с точки зрения обеспечения ее военной безопасности.

В то же время в условиях современной российской экономики процесс диверсификации может породить факторы, ухудшающие функционирование системы обеспечения военной безопасности, прежде всего, за счет возникновения на макроэкономическом уровне следующей цепочки причинно-следственных связей (сценария): «снижение спроса на продукцию военного назначения – финансово-экономическая нестабильность оборонных предприятий – сокращение производства – сокращение инновационно-инвестиционной деятельности – утрата оборонных компетенций – деградация предприятия вплоть до банкротства и смены собственника – необходимость резкого увеличения военных расходов для восстановления военной безопасности». Опасность такого сценария повышается из-за высокой кооперационной взаимозависимости предприятий ОПК, при которой деградация даже одного предприятия может спровоцировать экономическую турбулентность у множества других. Фактически по такому сценарию прошла конверсия 90-х годов XX века, в результате чего состояние отечественного ОПК было доведено до критического, что затем потребовало резкого увеличения военных расходов.

Следствием повторения такого сценария при диверсификации в научно-техническом и производственно-технологическом потенциалах страны может стать возникновение дополнительных лагун, провоцирующих дальнейшее отставание отечественной промышленности от темпов развития научно-технического прогресса со всеми негативными последствиями. Особая опасность такого сценария может проявиться в случае возникновения неожиданных угроз военно-технического характера.

Для предотвращения такого сценария, учитывая накопленный в рамках конверсии оборонного производства опыт, государство развивает соответствующие механизмы поддержки, предполагающие выделение из федерального бюджета дополнительного объема средств, что может негативно повлиять на макроэкономическое развитие страны. Ухудшение состояния микроэкономического уровня, как это в отечественной истории уже случилось, приведет к сокращению доходной части федерального бюджета – основного источника финансирования всех организационных структур, составляющих системы обеспечения военной безопасности.

В то же время снижение объемов ГОЗ, выполнение которого на оборонных предприятиях сопряжено с рядом жестких ограничений и необходимостью соблюдения множества требований, увеличивающих накладные расходы, сможет позволить предприятиям сократить такие расходы и активизировать свою финансово-хозяйственную деятельность по наиболее выгодным для него направлениям, недопустимым в части государственных оборонных контрактов. Это будет способствовать их развитию, что положительно скажется на макроэкономическом уровне. Этому же будет способствовать и возможность расширения спектра своей инновационно-инвестиционной деятельности, до этого концентрировавшуюся на оборонной тематике (в том числе за счет перехода в область более рискованных, но и более экономически выгодных проектов).

Однако необходимо иметь в виду, что оборонным предприятиям будет достаточно сложно компенсировать выпадающий в результате снижения ГОЗ объем финансов из хозяйственной деятельности вследствие большой разницы в цене единицы продукции военного и гражданского назначения. К тому же снижение накладных расходов, адекватное доли снижения объемов государственных оборонных контрактов, может быть компенсировано увеличением управленческих и других расходов, обусловленных конкурентной борьбой при продвижении гражданской продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, с экономической точки зрения процесс диверсификации должен быть управляемым для того, чтобы:

- потери федерального бюджета, обусловленные снижением налогов и выплат предприятиями в результате сокращения объемов оборонного производства, компенсировались соответствующими выплатами от результатов хозяйственной деятельности, связанной с выпуском гражданской продукции;

- динамика развития предприятий микроэкономического уровня не ухудшилась, при этом производство гражданской продукции компенсировало выпадающие от сокращения ГОЗ доходы;

- направления инновационно-инвестиционной деятельности оборонных предприятий соответствовали трендам развития научно-технического прогресса;

- в научно-техническом и производственно-технологическом потенциалах не образовывались лакуны, препятствующие индустриальному развитию страны;

- сохранялась высокотехнологичность оборонных предприятий и при этом обеспечивалась высокая доля добавленной стоимости, создаваемой на экономическом пространстве страны.

Экономические последствия процесса импортозамещения, как показывает опыт развития передовых в этом отношении отраслей экономики (в частности агропромышленного комплекса), способны оказать положительное влияние на функционирование системы обеспечения военной безопасности, поскольку активизирует следующую цепочку причинно-следственных связей: «повышается загрузка предприятий – улучшаются финансово-экономические показатели их деятельности – большая часть добавленной стоимости остается на экономическом пространстве страны, что улучшает состояние макроэкономики – увеличивается федеральный бюджет – улучшается ресурсное обеспечение системы обеспечения военной безопасности».

3. В части научно-технических аспектов.

Ориентация оборонных предприятий на государственные оборонные контракты привлекательна, прежде всего, стабильностью ресурсного обеспечения их выполнения, что сводит к минимуму неопределенности при планировании своего развития. Обратной стороной такой стабильности применительно к научно-техническим аспектам стала жесткая привязка их инновационно-инвестиционной деятельности к конкретным направлениям научно-технического прогресса, определяемым спецификой ВВСТ, в создании которых предприятие принимает участие. Благодаря этому накопленные ими НТПТП, хотя и имеют передовой уровень, позволяющий им предлагать лучшие технические решения для создания ВВСТ, но узко специализированные по направлениям НТП. Поэтому вынужденное прекращение (сокращение) работ по ГОЗ может нарушить установившийся на предприятии процесс воспроизводства НТПТП в соответствующем сегменте научно-технического прогресса (НТП), что способно негативно сказаться на возможности парирования будущих угроз военно-технического характера. Причем существует опасность безвозвратного распада сложившихся на предприятии конструкторских школ в области создания ВВСТ, а при определенных условиях – и ухода самих предприятий из сферы высоких технологий.

С другой стороны, диверсификация создает объективные предпосылки к расширению спектра инновационно-инвестиционной деятельности предприятия с экспансией в другие сегменты НТП. И если предприятию в этом будет сопутствовать успех, то это положительно скажется на уровне его развития, а следовательно, усилит возможности оборонно-промышленного комплекса по созданию образцов ВВСТ.

В то же время опасность деструктивного влияния диверсификации на функционирование системы обеспечения военной безопасности может быть снижена как раз за счет использования достижений научно-технического прогресса, основным трендом которого является снижение роли человека на всех этапах жизненного цикла образцов ВВСТ: при разработке – за счет применения автоматизированных систем проектирования, при изготовлении – за счет использования безлюдных производств и систем автоматизации управления производством, при эксплуатации – за счет роботизации ВВСТ. В связи с этим диверсификация будет способствовать активизации применения современных технологий, в том числе ускорения цифровизации производства, что, помимо повышения общего уровня развития предприятия, позволит также упростить хранение знаний об оборонных компетенциях даже после прекращения производства ВВСТ соответствующего типа (цифровые модели, документация в цифровом виде и т. д.).

Таким образом, управление процессом диверсификации с научно-технической точки зрения должно обеспечить:

- сохранение процессов воспроизводства научно-технического и производственно-технологического потенциалов, необходимых для создания требуемой номенклатуры ВВСТ;

- рациональную организацию инновационно-инвестиционной деятельности с тем, чтобы расширение ее спектра не привело к утрате накопленных оборонных компетенций;

- активизацию применения современных достижений НТП в части повышения качества, ускорения разработки и снижения стоимости создания образцов ВВСТ требуемой номенклатуры.

Что касается импортозамещения, то и с научно-технической точки зрения этот процесс положительно скажется на функционировании системы обеспечения военной безопасности, так как он будет способствовать расширению спектра инновационно-инвестиционной деятельности, а следовательно, наращиванию научно-технических и производственно-технологических возможностей ОПК, которые при необходимости могут быть использованы для парирования угроз военно-технического характера.

4. В части управленческих аспектов.

Важной чертой диверсификации с этой точки зрения является отсутствие эффективных общесистемных механизмов управления. Чисто формально отдельные атрибуты управления имеются: сформулирована задача (в общем виде), установлены индикаторы процесса диверсификации (повысить долю гражданской продукции в общем объеме продукции ОПК к 2025 году до 30%, а к 2030 году – до 50%¹), определены источники и механизмы финансирования (прежде всего, различные фонды). Однако при этом не определены главные атрибуты управления – целеполагание, доведенное до конкретной номенклатуры гражданской продукции, подлежащей выпуску оборонными предприятиями, а также не выделен главный орган управления, отвечающий за организацию процесса диверсификации и эффективное решение поставленных задач. Фактически, столь важные атрибуты управления отданы на откуп самим хозяйствующим субъектам, которые (с учетом доминирования рыночных отношений), сами должны определять номенклатуру гражданской продукции, которая окажется конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынках. В результате оборонным предприятиям придется на равных бороться на этих рынках с поставщиками аналогичной продукции, которые, давно освоившись на них, имеют безусловные преимущества в конкурентной борьбе. Ситуация усугубляется тем, что отсутствие координации между оборонными предприятиями относительно номенклатуры осваиваемой ими гражданской продукции приведет к усилению внутренней конкуренции. Это ослабит и без того невысокие возможности оборонных предприятий при диверсификации.

Фактически, в отношении диверсификации сегодня повторяется ситуация с организацией конверсии в 90-х годах XX века, когда также не было осуществлено распределение номенклатуры гражданской продукции, выпускаемой каждым оборонным предприятием, и, главное, при этом не был обеспечен спрос на такую продукцию, что привело к деградации многих из них.

С управленческой точки зрения нужно учитывать и разные механизмы управления созданием ВВСТ и гражданской продукции. Развитие системы вооружения осуществляется на основе программно-целевого планирования, результатом которого является определение количества и номенклатуры ВВСТ, планируемой к выпуску по каждому году программного периода, что позволяет оборонным предприятиям загодя организовывать свою деятельность в нужном направлении. Попытки придать процессу диверсификации программно-целевую направленность в научном плане в последнее время интенсивно предпринимаются [3, 4]. Однако на практике, планирование выпуска гражданской продукции, в том числе высокотехнологичной, по крайней мере в первые годы будет осуществляться на основе анализа конъюнктуры рынка. Это по сути предполагает резкую смену моделей управления производством, что не может не вызвать дополнительных издержек и крайне негативно сказаться на функционировании системы обеспечения военной безопасности. Ведь возможности развития процесса воспроизводства НТПТП за счет ГОЗ сократятся, а за счет выпуска гражданской продукции не компенсируются, что в конечном итоге может привести к утрате возможности адекватного реагирования на внезапные угрозы военно-технического характера.

Еще одна проблема управленческого характера связана с тем, что ни один из органов военного управления (в том числе из органов заказа ВВСТ) не имеет мотиваций к участию в управлении диверсификацией, да, собственно, к этому и не стремится. Это обуславливает фактическое отсутствие ограничений на уход предприятий в «глубокую» диверсификацию с последующей утратой важных заделов в области ВВСТ.

В отличие от диверсификации, импортозамещение изначально нацеленное на повышение защищенности России от различных видов угроз, в том числе военно-технического характера,

1 Совещание по вопросам диверсификации производства продукции гражданского назначения организациями ОПК // Официальный сайт Президента Российской Федерации, 24 января 2018 г.

было построено по программно-целевому методу: определены перечни замещаемой продукции, назначены предприятия – поставщики такой продукции, выделены необходимые ресурсы и установлены сроки поставок этой продукции, что позволило сформировать соответствующие программы и планы импортозамещения (к 2016 году было сформировано 22 плана импортозамещения, в основу которых положены отраслевые перечни позиций, критичных с точки зрения зависимости от импорта продукции, услуг и технологий, на основе которых утверждены 1423 технологических направления и по которым была организована реализация 1658 инвестиционных проектов общей суммой 374,4 млрд руб., в том числе из федерального бюджета – 71,4 млрд руб. (по состоянию на конец 2016 года). Эффект от такой организации работ проявился очень быстро, например, только за первое полугодие 2015 года украинские ПКИ оказались замещены в 57 образцах ВВСТ из 102 запланированных¹.

5. В части организационных аспектов.

Отсутствие полноценной системы управления процессом диверсификации в определенной мере компенсируется тем, что большая часть оборонных предприятий страны вовлечена в интегрированные структуры, находящиеся в высокой степени зависимости от государства. Поэтому и инновационно-инвестиционная деятельность таких предприятий, осуществляемая в интересах создания гражданской продукции, как ожидается, будет увязана с аналогичной деятельностью интегрированных структур.

В свою очередь, интегрированные структуры, несущие ответственность за выполнение соответствующих работ государственного оборонного заказа, вполне способны распределить между входящими в них предприятиями ответственность за сохранение и развитие оборонных компетенций, необходимых для создания запланированной ГПВ номенклатуры ВВСТ.

Однако интегрированные структуры, являющиеся прежде всего организационно-экономическими системами, проводящими в рамках интегрированной структуры собственное экономическое строительство, преследуют в основном экономические интересы. Поэтому организационно они оказались в определенной мере оторванными от задач, решаемых государственными заказчиками. Созданные в ряде интегрированных структур коммерческие организации содействия диверсификации (например, «НПО Конверсия», созданное ГК «Ростех» и Внешэкономбанком), также ориентированы на достижение экономических целей. Призванная стать объединяющим центром такая организационная структура, как Военно-промышленная комиссия Российской Федерации не имеет действенных (прежде всего финансовых) рычагов для того, чтобы гармонизировать их экономическое развитие, в том числе в рамках диверсификации, с развитием системы вооружения. И это создает организационные предпосылки к возникновению проблем с обеспечением военной безопасности.

В отличие от диверсификации, в процессе импортозамещения именно Военно-промышленная комиссия Российской Федерации выполняет роль системного интегратора, гармонизирующего интересы государственных заказчиков ВВСТ в части развития системы вооружения в интересах обеспечения военной безопасности с одной стороны и оборонно-промышленного комплекса, как организационно-экономической системы, предназначенной для решения, прежде всего, экономических задач с другой.

6. В части информационных аспектов.

В настоящее время информатизация всех сфер деятельности государства достигла уровня, при котором в информационно-аналитических системах различных организаций и ведомств аккумулируется множество разнообразной информации. Соответственно, процессы диверсификации и импортозамещения также находят свое отражение в такого рода системах. Поэтому для

1 ТАСС, Москва, 16 июля 2016 г.

решения всех задач, связанных с этими процессами, имеется необходимый набор информации. Эта информация может быть также использована и для рационального управления диверсификацией и импортозамещением в интересах развития системы обеспечения военной безопасности. Для этого достаточно четко сформулировать управленческие задачи, подлежащие решению, определить алгоритм их решения и выбрать источники необходимой информации.

Здесь необходимо отметить, что если в отношении импортозамещения в системе обеспечения военной безопасности необходимый набор управленческих задач уже решается (например, в рамках Государственной автоматизированной системы государственного оборонного заказа), то применительно к диверсификации такие задачи не только не сформулированы, но и не поставлены. И это при том, что с точки зрения устойчивости функционирования системы обеспечения военной безопасности, одной из наиболее актуальных задач при диверсификации сегодня становится мониторинг поддержания в актуальном состоянии и целостности всей совокупности оборонных компетенций в интересах поддержания способности парировать все вызовы военно-технического характера.

Актуальность этой задачи уже подтверждена отечественной практикой (например, уход специалистов, разукрупнение производственных линий, утрата конструкторской и технологической документации при ликвидации предприятий, поставлявших оборонную продукцию). Более того, для ее решения уже стал формироваться соответствующий бизнес (закрывающийся, в частности, в поиске утраченной документации¹).

Изложенное позволяет определить место диверсификации и импортозамещения в системе обеспечения военной безопасности – а именно, в контуре развития НТПТП в интересах создания ВВСТ, предназначенных для парирования вызовов военно-технического характера, а роль – как способ повышения эффективности решения задач обеспечения военной безопасности.

При этом влияние рассматриваемых процессов распространяется на все уровни системы обеспечения военной безопасности, формируя множество разнонаправленных факторов, как это видно из схемы, иллюстрирующей влияние этих факторов (рисунок 1).

Из приведенной схемы становятся очевидными основная проблема, возникающая при развитии процессов диверсификации и импортозамещения – сохранение и развитие набора оборонных компетенций, необходимых для решения задач обеспечения военной безопасности и главная задача, которая должна быть решена при этом – создание условий и инструментов, способствующих максимизации проявления факторов положительной направленности, и минимизация проявления факторов негативной направленности.

В интересах формирования эффективных механизмов диверсификации общесистемного характера представляется целесообразным формирование органа управления этими процессами, в который должны быть включены представители органов военного управления, осуществляющие мониторинг поддержания в сохранности и развития оборонных компетенций, необходимых для создания ВВСТ в рамках технического оснащения ВС РФ.

Очередной финансово-экономический кризис, начало которого ускорилось пандемией коронавируса Covid-19, существенно ухудшил макроэкономические условия развития страны (план восстановления российской экономики предполагает расходы в 7,3 трлн руб.²), а также обострил финансово-экономическое состояние многих предприятий (по данным на 1 июня 2020 г., около 20% российским компаниям необходимо внешнее финансирование, так как у них нет

1 Смерть и наследство КБ: как найти потерянную конструкторскую документацию? // <http://mil.consulting/>, 28.05.2020.

2 Базанова Е., Стеркин Ф., Ястребова С, Червонная А. Мишустин предложил Путину создать социальное казначейство // Ведомости. – 2020. – 2 июня.

средств для выплаты заработной платы, налогов и страховых взносов¹). Но тем не менее дает очередной шанс того, что диверсификация и импортозамещение станут началом новой индустриализации страны. И в этом ракурсе актуальность решения рассмотренных выше задач еще больше усиливается.

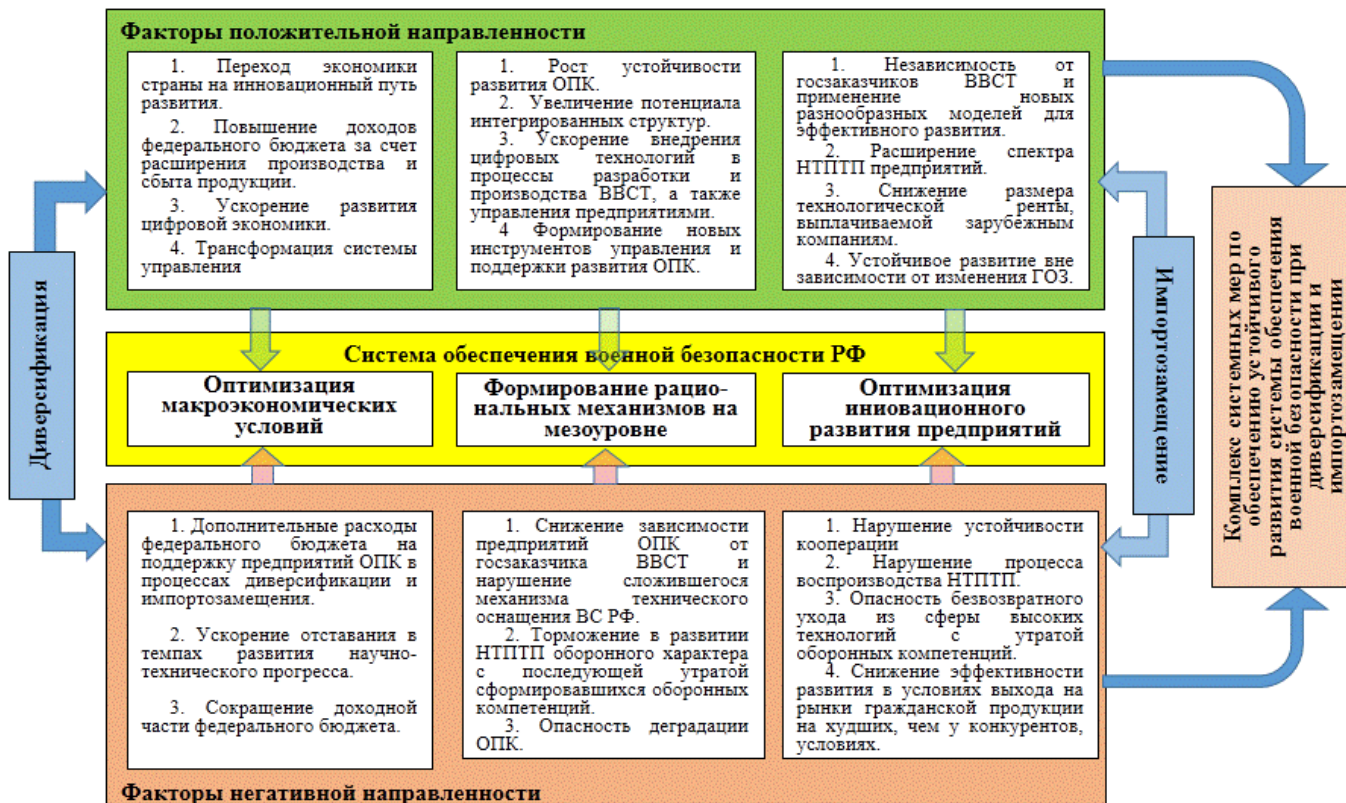


Рисунок 1 – Система факторов, оказывающих влияние на устойчивость системы обеспечения военной безопасности Российской Федерации при реализации процессов диверсификации и импортозамещения

Список использованных источников

1. Большая советская энциклопедия, том 8. – М.: Советская энциклопедия, 1972.
2. Большая экономическая энциклопедия. – М.: Эксмо, 2007.
3. Буренок В.М., Дурнев Р.А., Крюков К.Ю. Диверсификация оборонно-промышленного комплекса: подход к моделированию процесса // Вооружение и экономика. – 2018. – № 1 (43). – С.41-47.
4. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Диверсификация предприятий оборонно-промышленного комплекса – актуальная научная проблема // Вооружение и экономика. – 2019. – № 3 (49). – С. 62-75.

1 ТАСС, 1 июня. 2020 г.

В.М. Буренок, доктор технических наук,
профессор

Р.А. Дурнев, доктор технических наук,
доцент

Рассуждение о диссертации: тема исследования

В статье рассматривается понятие темы диссертации. Она является знаком, раскрывающим в наиболее существенных чертах содержание диссертации. Корректное формулирование темы диссертации значительно облегчает ее экспертизу.

В предыдущей статье [1] диссертация как научно-квалификационная работа рассмотрена с точки зрения социально-экономической эффективности процессов получения новых знаний или обобщения, систематизации уже существующих. Квалификационный аспект диссертации способствует снижению издержек при оценке пригодности специалиста к научному труду. Научный ее аспект значим с позиции повышения эффективности научной деятельности за счет использования опыта подготовки диссертационной работы, а также мотивационного потенциала научных сотрудников для минимизации затрат на получение требуемых научных результатов.

Попытаемся и далее с таких прагматических, социально-экономических, позиций оценить целесообразность и определить требуемый облик тех или иных структурных элементов диссертации, ее квалификационных признаков (на примере работ по техническим отраслям кандидатского уровня). Это в определенной мере идет вразрез с существующей юридической деятельностью по определению формальных, легко оцениваемых аспектов научно-квалификационных работ, которые в последнее время явно превалируют над сущностными аспектами («форма подавляет содержание»). К ним относятся количество публикаций в рецензируемых изданиях, сроки размещения работы в Интернете или внесения ее в библиотеку, внешнее совпадение некоторых ключевых слов из диссертации с названием печатных работ оппонентов, наличие патентов при защите диссертаций по «техническим и технологическим разработкам» и т. п.

Понятно стремление некоторых должностных лиц таким образом облегчить себе работу. Ведь давно уже очевиден недостаточный уровень научных кадров высшей квалификации и подготавливаемых ими работ. При этом количество таких работ значительно увеличилось. Справиться же с огромным валом низкоквалифицированных диссертаций достаточно легко, если оценивать их по формальным, рутинно применяемым критериям. Но такое процедурное «разреживание легиона диссертаций» ничего, к сожалению, не дает для повышения социально-экономической эффективности науки. Несравненно сложнее сформировать и обеспечить долгосрочное функционирование многоуровневой системы научной деятельности, основанной на разносторонней мотивации труда ученых.

Очевидно, что важнейшими элементами диссертационной работы являются ее тема, научная задача, структура (оглавление), введение и заключение, выводы по главам, научные положения и результаты и т. п. Конечно, гипотетически можно себе представить некий научный труд, в котором отсутствуют все эти элементы. Поймет ли специалист существо излагаемой проблемы и пути ее решения? Сможет ли оценить вклад этого труда в общую «копилку» науки? Конечно, но для этого ему потребуется достаточно много времени. Эта деятельность еще в большей степени усложнится, если такой научный труд в узкой предметной области попадет специалисту из другой сферы научных исследований. Конечно опыт, эрудиция, знания помогут и ему разобраться-

ся в существе работы, но с гораздо большими усилиями, с изучением терминологии данной области, ее научных основ, уровня отечественных и зарубежных исследований и многого другого.

При этом такая придуманная ситуация не является совсем уж нежизненной, отвлеченной. Стоит отметить, что большинство членов диссертационных и экспертных советов, участвующих в экспертизе диссертации, не являются специалистами по профилю конкретной диссертации (с содержательной, а не юридической точки зрения номенклатуры очень общих научных специальностей). Такие «не-специалисты», представляя другие предметные области, зачастую составляют большинство, определяющее исход голосования. Их мнение основывается хотя и на квалифицированном, но достаточно формальном подходе к оценке различных элементов диссертации, проверенной узкими специалистами: официальными оппонентами, представителями ведущей организации. Их совместная оценка и гарантирует обоснованность экспертизы диссертационной работы.

Возвращаясь к рассмотренной гипотетической ситуации отметим, что трудоемкость экспертизы не имеющего требуемых формальных признаков научного труда значительно возрастает для всех экспертов, даже тех, кто владеет вершинами мастерства в узкой предметной области. Поэтому основное предназначение структурных элементов диссертации – облегчить и ускорить научно-квалификационную экспертизу на всех стадиях ее прохождения. Это снижает издержки труда ученого на оценку квалификации своего коллеги, которому в будущем он сможет доверить самостоятельное решение тех задач, которые сам уже решил и поэтому в какой-то мере утратил к ним познавательный интерес.

Указанные структурные элементы диссертации должны быть сформулированы не в специфических, а в общенаучных терминах и являться наиболее информативными и глубоко понятными как всем членам диссертационного совета, так и специалистам высших аттестационных органов. Так, в диссертациях по техническим наукам структурные элементы диссертации должны быть сформулированы с точки зрения теоретических проблем современной техники, создания прогрессивных технологических процессов, совершенствования и создания высокопроизводительных машин, агрегатов, приборов и новых материалов, разработке методов и средств автоматизации, информатизации, интеллектуализации, организации производства и труда [2].

При этом следует отметить, что языковое оформление рассматриваемых элементов, да и всей диссертации в целом, очень рационально и находится в границах научного стиля речи, для которого основное требование – максимум информации при заданном объеме затраченных на выражение языковых единиц, объективность, точность и доказательность всех суждений и оценок. Поэтому язык всей диссертации – это обезличенный монолог, не допускающий никаких экспрессивно-эмоциональных моментов и не отвлекающий специалиста, проводящего экспертизу, на различные иррациональные переживания.

Обобщая сказанное, можно отметить, что различные структурные элементы диссертации крайне важны с точки зрения социально-экономической эффективности, т. к. позволяют снизить издержки высококвалифицированного труда на проведение экспертизы данной работы.

По сути, все они – это система вложенных, пересекающихся, взаимодополняющих знаков, значительно облегчающих работу специалистам, владеющим таким знаковым языком и позволяющих со все большей обоснованностью судить об уровне работы при переходе от одного знака к другому. Так, тема работы на самом высоком уровне отражает ее содержание. Структура работы (оглавление) раскрывает порядок (событийно-временную последовательность) получения и реализации научных результатов. Научная задача, сформулированная по типу «дано – требуется – способ решения», раскрывает внутреннее логическое единство всей совокупности (иногда разнородной) методов и средств получения новых знаний, связанных единой формулировкой. После ознакомления с введением у специалиста формируется представление о сущно-

сти и ценности работы. Научные результаты конкретизируют (с точностью до существенных отличий от других авторов) вклад в науку. Переходя от одного такого знака к другому эксперт все в большей степени понимает существо проведенных исследований, смысл полученных результатов. Возможно, для высококлассного специалиста и не нужно будет ознакомление со всеми структурными элементами диссертации, достаточно обдумать представляемую тему и сравнить ее с той информацией, которую соискатель доводит при защите. Для других вполне приемлемым будет внимательное прочтение введения, выводов по главам и заключения. Ну а для некоторых, не являющихся специалистами в предметной области или заметивших изъяны в теме или научной задаче, противоречия в выводах работы и других ее элементах, необходимо будет внимательно ознакомиться с диссертацией. Но так или иначе, «снижение издержек труда» можно будет осуществить на любом этапе изучения работы не в ущерб качеству экспертизы.

Тема диссертации как важнейший ее структурный элемент тоже является своего рода символом, знаком, сигналом, позволяющим проводить определенные суждения. Но если наличие ученой степени (соответствующего диплома) – это дихотомичный (да-нет) знак по номинальной шкале, отражающий принадлежность/непринадлежность лица к сообществу специалистов, профессионально занимающихся научной деятельностью, то наименование темы диссертационной работы – это многосложный знак, имеющий богатую семантику. В теме есть определенная аналогия с вывеской на дверях административного здания, которая кратко может отражать и функцию здания, и состав персонала, и ведомственную принадлежность и др. Тема диссертации как информационный объект тоже должна отражать (т. е. раскрывать в наиболее существенных чертах) содержание более крупного информационного объекта – самой работы. И здесь должна решаться оптимизационная задача – обеспечить требуемый уровень отражения содержания диссертации при минимуме языковых средств. Именно поэтому и возникает у экспертов претензии к избыточным словам («исследование», «разработка», «методы и средства» и т. п.) в названии темы. Даже словосочетание «научные основы» в большинстве случаев не вполне применимы из-за неопределенности конечного результата (неужели до автора эти основы были ненаучными?) [3].

Для решения такой задачи применительно к бесконечно разнообразным языковым конструктам, оторванным от контекста (что всегда характерно для прочтения темы еще незнакомой диссертации), конечно же, не могут использоваться методы оптимизации. И здесь нужно творческое умение научного руководителя грамотно формулировать тему, учитывая не только смысловые аспекты, но и даже вкусовые предпочтения членов диссертационного совета. Не следует однако думать, что данные вкусовые предпочтения являются элементом субъективизма, произвола, скорее всего это поверхностное, иногда не осознаваемое, отражение богатого опыта продолжительной научной работы с ее успехами и неизбежными ошибками. Для тех же, кто не вполне уверен в корректности и лаконичности темы можно порекомендовать ее сформулировать достаточно широко, с избыточным количеством слов, а затем исключать слова из темы до тех пор, пока не начнет меняться смысл, не начнет упускаться важный фактор, не превратится все в бессмыслицу.

Нельзя не согласиться с автором [4], который говорит том, что тема, выраженная в виде краткого наименования, не может давать исчерпывающее представление о содержании всей диссертации. Но очень важно и вполне возможно, чтобы в названии темы были представлены те минимально необходимые сведения, без которых это уже не тема научно-квалификационной работы. Тема не должна формулироваться слишком широко и охватывать слишком многое, но должна конкретно определять свое узкое место, отличаясь от уже защищенных диссертаций в этой области.

Стремление определить в названии диссертации задачу шире, чем фактически решенную в работе, ничем не оправдано и дает повод экспертному совету ВАК сделать заключение об отсутствии должного решения определенной в названии задачи с нежелательными последствиями

для диссертанта. Кроме того, в темах, сформулированных широко, соискателю трудно определиться. Напротив, в темах, сформулированных чрезмерно узко, трудно получить результаты и выводы, обладающие существенными признаками новизны. Во всем нужна «золотая середина».

Работа над формулировкой темы (в отличие от вывески на здании) продолжается вплоть до внесения диссертации в совет. На начальном этапе тема нужна, в основном для определения предметной области, границ исследования и возможного вклада в науку в этой области. Это, в свою очередь, необходимо для того, чтобы «застолбить» данное направление исследований, особенно в тех организациях, где существует здоровая научная конкуренция соискателей, работающих над одной широкой проблемой. В этом случае целесообразно «разойтись на берегу», чем потом искать принципиальные отличия при внесении близких по содержанию диссертаций в совет.

Кроме того, первоначальное формулирование темы сигнализирует коллегам о том, что в их интересах потенциально возможно использование (конечно же, корректное) нужных результатов, которые получит соискатель. Это позволит им снизить затраты труда и в целом будет способствовать повышению производительности научной деятельности.

На всех других этапах тема корректируется в зависимости от тех научных результатов, которые получены в процессе исследования. На конечной стадии работы в формулировке темы должна корректно отражаться уже вся совокупность научных результатов, являющихся вкладом именно в науку. И здесь тема ориентирует тех, кто занимается экспертизой диссертации, в направлении того, что именно надо оценивать, т. е. тоже способствует снижению издержек экспертного труда.

Необходимо подчеркнуть, что кажущая тавтологичность выражения «научных результатов... в науку» не небрежность, допущенная в тексте статьи. Для того, чтобы объяснить это, необходимо ответить на вопрос: какой результат является научным? Все ли итоги деятельности научных работников можно отнести к научным результатам? Скорее всего, нет, особенно для прикладных НИР или ОКР, результатами которых может быть, к примеру, подготовка различных документов: наставлений, инструкций, руководств, стандартов. В качестве другого примера можно привести нахождение рационального конструктивного исполнения какого-либо устройства, которое можно выполнить, оставаясь целиком в сфере технического, а не научного творчества (недаром Томас Эдисон признается гениальным изобретателем, а не ученым).

Существует весьма простой критерий классификации научных результатов [2], а именно: кто является основным потребителем научного результата – специалист-ученый или специалист-практик? Для примера рассмотрим два научных результата, облеченных в определенную формулировку:

первый – усовершенствованная методика работы органа военного управления (ОВУ) при планировании...;

второй – усовершенствованная методика оценки и критерии эффективности работы ОВУ при планировании...

Сравнивая эти результаты, легко прийти к выводу, что первый результат (усовершенствованная методика работы) есть вклад в практику работы ОВУ, поскольку дает им в пользование оперативную методику, т. е. руководство по планированию соответствующих мероприятий (пользователь – сотрудник ОВУ). Второй результат (усовершенствованная методика оценки и критерии эффективности) – вклад в науку, поскольку предполагает усовершенствовать теорию путем разработки критериев и оценки эффективности работы всех ОВУ данного уровня (пользователь – научный работник той организации, которая будет заниматься оценкой эффективности системы ОВУ).

Конкретизируя, можно определить, что научный результат представляет собой продукт исследовательской деятельности, полученный на основе применения научно-методического аппарата (этим он принципиально отличается от всех других результатов человеческой деятельности в иных сферах). Так, инструкцию можно написать и без аппарата, основываясь на опыте и про-

стейшей статистике, а конструкцию техники предложить исходя их комбинации известных конструкций отдельных элементов.

Под научно-методическим аппаратом в широком смысле понимается совокупность разработанных и принятых к широкому научному использованию (т. е. достаточно апробированных) методов, приемов, способов и средств получения научных результатов, обладающих гарантированной достоверностью [2]. С учетом этого любой результат, полученный с использованием научно-методического аппарата, является научным. Но дает ли он самой науке какое-либо приращение? Не всегда, поскольку с использованием научных методов может быть получен важный практический результат, но который никакой ценности в научном отношении не представляет. И такая ситуация будет возникать все чаще и чаще по мере того, как наука будет становиться все больше и больше непосредственной производительной силой. Сейчас уже наблюдается ярко выраженная тенденция того, что только что полученные научные результаты (буквально «из печи») сразу начинают внедряться. Упрощенно можно сказать, что существо всех процессов, именуемых в настоящее время инновационными, и составляет быстрее «превращение знаний в деньги» (в отличие от науки, которая за более длительный период «превращает деньги в знания»).

В качестве примера научного результата, не являющегося вкладом в науку, можно привести следующий. Существуют различные сертифицированные методики оценки последствий применения противником средств поражения по химически-опасным объектам. В результате повреждения или уничтожения его отдельных элементов (например, хранилищ с токсичным веществом) могут образовываться вторичные поражающие факторы, связанные с заражением огромных территорий, поражением населения, причинением экологического ущерба. Такие методики являются сугубо научными, в них используется достаточно специфичный аппарат интегро-дифференциальных уравнений. При строительстве нового химически-опасного объекта должны проводиться специальные инженерно-технические мероприятия по защите населения и территорий, для обоснования которых необходимо применять указанные методики. Объект новый, сочетание его производственных, технических, объемно-планировочных, географических и других условий является уникальным, абсолютно новым. Подставляя такие новые исходные данные в методику можно получить новый научный результат. Но вклада в науку он не несет, т. к. при этом использовался уже известный научно-методический аппарат.

Новым научный результат становится, когда он обогащает современную систему знаний и методов их получения в определенной области специализации науки. Для научных результатов, являющихся вкладом в науку, характерна довольно высокая степень обобщения (собирабельности, тиражирования) и абстракции (отвлеченности). Высокая степень обобщенности предполагает возможность многократного использования научных результатов при решении конкретных практических задач, различающихся условиями их постановки.

Дополнительно стоит отметить, что не всякий научный результат может быть получен с помощью известного научно-методического аппарата. Поэтому для получения научного результата более высокого уровня, как цели научного исследования, зачастую приходится усовершенствовать, развивать, уточнять научно-методический аппарат. Такая работа над развитием научно-методического аппарата сама по себе ценится как высокий научный результат исследования и представляет собой значительный вклад в науку.

После проверки обоснованности нового научно-методического аппарата и области гарантированной достоверности его применения наука приобретает еще одно орудие получения истинного научного знания в определенной области своей специализации.

В связи с этим всякий научно-методический аппарат, в том числе и новый, можно условно разделить на две части [2]:

способы и средства получения научного результата;
способы и средства обоснования достоверности и точности самого научно-методического аппарата.

Поэтому любые усовершенствования научно-методического аппарата могут касаться обеих его частей. Развитие науки в любой области дает тому массу примеров.

Конечно же, вклад в практику ни в коем случае не должен забываться или принижаться, напротив, именно практическая направленность диссертации придает ей вес, практическую значимость и соответствующий авторитет самому соискателю. Но именно вклад в науку является определяющим признаком при аттестации научного работника. Сам квалификационный характер диссертации требует подчеркнуть, выделить, акцентировать особо те научные результаты, которые являются вкладом в науку.

Переходя к конкретным рекомендациям по формулированию тем диссертаций, можно определить то, что должно составлять их «конструкцию» [3].

Во-первых, и это отражено практически во всех работах, предмет исследования – та качественно определенная сторона объективной реальности, которая включается в процесс познания для достижения поставленных целей, обусловленных интересами практики. С формулированием предмета исследования, как правило, не возникает трудностей. Его всегда можно определить с учетом решаемых задач в соответствующей научной области, содержания паспорта научных специальностей.

Во-вторых, это новый научный результат, являющийся вкладом именно в науку. Без отражения в теме диссертации научного результата тема приобретает практический, проектно-конструкторский, изобретательский, так называемый «ремесленный» характер. В этом случае можно решать поставленную задачу и без научных исследований. Например, для отработки темы «Разработка универсальной боевой машины...» можно обойтись проведением только опытно-конструкторских работ. Аналогично, «Информационная технология контроля выполнения мероприятий плана...» может быть выполнена без проведения научных исследований путем привлечения сотрудников ОВУ и специалистов по созданию специального программного обеспечения. Для «Оценки риска аварий на объектах оборонно-промышленного комплекса...» можно ограничиться использованием существующих методик оценки риска.

При формулировке научных результатов, являющихся вкладом в науку, могут быть использованы следующие ключевые конструкции словесного описания [2]:

теоретические основы, метод, методика, методические основы... (далее существо результата);
научно-методический, методический, математический аппарат обоснования (анализа, оценки, синтеза, построения, оптимизации, прогнозирования и т. п.)...;
теоретическое, теоретико-экспериментальное, экспериментальное обоснование...;
закономерности, принципы, правила формирования, построения, использования, ранжирования, оснащения...;
математические модели или математические (формализованные) описания...

Конечно, любая словесная конструкция, очень привлекательная на вид, должна быть проверена на корректность применения и достоверность содержания в тексте диссертации. Так, встречаются работы, в название темы которых необоснованно включаются различные словосочетания, например, «теоретико-экспериментальное обоснование...». По нашему мнению, их наличие в теме диссертации возможно только в случае, если в тексте работы будет подтверждена его научная новизна, т. е. отражен вклад автора в теорию, методику эксперимента и т. п. Во всех других случаях, несмотря на привлекательность, нахождение его в теме не будет обоснованным. Например, если соискатель пытается таким образом конкретизировать те основные научные положения, которые

он использует при проведении исследований, то, безусловно, такой перечень (теория, эксперимент) не является исчерпывающим, оригинальным, неповторимым и присущим именно этой работе. Практически во всех диссертациях используются какие-то теоретические положения, методические основы, проводятся экспериментальные исследования и экспертные опросы. Если подходить с этой точки зрения, то все это и нужно включать в название темы. В этом случае появится «неудобоваримый» конструкт типа «методико-экспериментально-теоретически-экспертное обоснование» или его сочетания. С таким же успехом возможно применение в теме диссертации и общеизвестных элементов дискурсивной деятельности (типа «индуктивно-дедуктивное обоснование»), и даже отдельных научных методов («системный анализ процессов...»).

Если корректность формулировок темы не проверит сам соискатель, то это сделают за него органы экспертизы, но тогда выводы могут быть уже не в его пользу.

Следует отметить предубеждение членов диссертационных и экспертных советов против некоторых словосочетаний в темах диссертаций. Особенно ярко это проявляется к категории «методология» (характерно для докторских) и ее таких составных частей, как методы, методики и т. п. (для кандидатского уровня). Но ведь именно методология и выполняет в науке важнейшую регулятивную функцию по направлению, предписыванию действий субъекта в процессе познания, установлении предписаний и норм, в которых фиксируются содержание и последовательность определенных видов научной деятельности. Основной задачей именно методологии является внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования какого-то объекта, в отличие от теории, которая реализует объяснительную функцию свойств, связей, зависимостей, закономерностей, законов, присущих объекту познания. Поэтому диссертации методологического направления для прикладного (не фундаментального) исследования представляются даже более значимыми, чем для теоретического.

Кроме того, дополнительными элементами темы диссертации могут быть цель исследования (практическая потребность, для удовлетворения которой осуществляется новое решение актуальной научной задачи или проблемы), границы исследования (требования к формам представления или пределам изменения варьируемых данных, временные, пространственные, ресурсные и другие ограничения), методы исследования и некоторые другие, также значительно облегчающие экспертизу научно-квалификационных работ.

В случае если в диссертации не представлен крупный, обладающий внутренней логикой единый научный результат (для «технических и технологических разработок»), а внесены определенные изменения, усовершенствования в ряд таких менее значительных результатов, то в формулировке такой темы может добавляться слово «обоснование», чтобы работа не приобретала сугубо практический, технологический характер.

Авторы прекрасно осознают, что примеры так же поучительны, как и правила. Но вслед за правилами формулирования тем диссертаций примеры приводятся не будут по нескольким причинам. Во-первых, примеры от узких специалистов в разных предметных областях также будут значительно ограничены в понимании характерных их особенностей. Это может сыграть отрицательную роль – неудачный, в смысле не очень общий, не подходящий для большинства читателей пример может бросить тень и на правила, к конструктивному обсуждению которых может пропасть интерес. Во-вторых, слишком широкий, обобщенный пример будет тяготеть к абстракционизму, гипотетичности, что также позволит усомниться в необходимости задуматься над правилами. В третьих, тема диссертации не исключает субъективных моментов, привносимых творческой индивидуальностью самого диссертанта, ибо здесь всегда присутствуют такие факты, как его знания и личный опыт, взгляды и пристрастия, обусловленные общественно-историческими условиями подготовки диссертационной работы.

Но при этом прекрасно осознается и тот факт, что проверить эти рекомендации возможно только на практике, при формулировании тех или иных образцов тем диссертаций. Возможно это будет осуществлено в рамках конструктивной дискуссии по рассматриваемому вопросу.

Рассмотренные элементы темы диссертации также служат сужению множества альтернатив, ускорению экспертизы работы и снижению затрат труда. Предмет исследования в теме четко очерчивает границы в широкой предметной области и необходим не только для экспертов, но и для широкой научной общественности, желающей ознакомиться с полученными научными результатами для оценки их пригодности в своей научной деятельности.

Научный результат, являющийся вкладом в науку, предназначен для оценки конкретных областей применения положений диссертаций в деятельности коллег-ученых, необходимых мероприятий по их доработке и усовершенствованию в целях приведения в соответствие с решаемыми близкими, но не эквивалентными, задачами, а также направлений дальнейшего развития для решения менее схожих задач. При этом возможны следующие направления развития результатов диссертации:

- адаптация (приспособление) разработанных методов и методик к решаемым задачам;
- доработка, усовершенствования разработанных методов и методик с учетом новой постановки задач;
- создание новых методик на основе уточнения разработанных методов или новых методов на основе уточнения разработанной теории и т. п.

В целом научный результат, являющийся вкладом в науку, необходим для оценки возможности многократного использования результатов диссертации при решении конкретных практических задач, различающихся условиями их постановки.

В заключение следует отметить, что тема диссертации, как и другие ее структурные формализованные элементы, крайне важна с точки зрения социально-экономической эффективности, т. к. позволяет снизить издержки высококвалифицированного труда на проведение экспертизы данной работы, делают ее доступной и понятной широкому кругу специалистов и соискателей, использующих уже защищенные диссертации в своих разработках.

В следующих статьях данной серии будут рассмотрены другие структурные элементы диссертации, их назначение и характеристика.

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Дурнев Р.А. Рассуждение о диссертации: введение в полемику // Вооружение и экономика. – 2020. – № 1 (51).
2. Черничко Б.И. Подготовка и аттестация научных кадров: Методическое пособие для адъюнктов (аспирантов) и соискателей ученых степеней. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1995. – 140 с.
3. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Севрюков Ю.Т. Подготовка и аттестация научных и научно-педагогических кадров в системе МЧС России: Учебно-методическое пособие. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. – 248 с.
4. Долгов А.И. Справочник исследователя / Новочеркасский военный институт связи. – Новочеркасск, 2002. – 246 с.



Адамов Андрей Анатольевич
кандидат экономических наук
генеральный директор ЗАО «Научно-технический центр «Модуль»
rusales@module.ru



Артеменко Валерий Борисович
кандидат технических наук
начальник отдела 46 ЦНИИ МО РФ
artemenkoyal@rambler.ru



Бабенков Валерий Иванович
доктор военных наук, профессор, член-корреспондент РАН
старший научный сотрудник Военной академии материально-
технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева;
директор научного центра (филиала) РАН «Инновации в
материально-техническом обеспечении войск (сил)»
vi_babenkov@mail.ru
SPIN-код: 7495-0451



Бабкин Геннадий Васильевич
старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
genulechek@mail.ru



Бобров Иван Борисович
кандидат физико-математических наук
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
ivan.bbrv@gmail.com



Борщевская Надежда Алексеевна
кандидат физико-математических наук
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
borschxyz@gmail.com



Буравлев Александр Иванович
доктор технических наук, профессор
старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
buravlev46@mail.ru



Буренок Василий Михайлович
доктор технических наук, профессор
президент Российской академии ракетных и артиллерийских наук
bvasil57@rambler.ru



Волков Валерий Федорович
доктор военных наук, профессор
профессор кафедры Военно-космической академии
им. А.Ф. Можайского
julysanchez217@mail.ru



Гасюк Дмитрий Петрович
доктор технических наук, профессор
профессор Михайловского военного артиллерийского университета
cz_tipt@mail.ru
SPIN-код: 5561-8623



Дубовский Виталий Александрович
кандидат технических наук
докторант Военной академии материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулева
dubovskiy@inbox.ru
SPIN-код: 6730-1474



Дурнев Роман Александрович
доктор технических наук, доцент
начальник научно-исследовательского управления Российской
академии ракетных и артиллерийских наук
rdurnev@rambler.ru



Дьяконов Иван Викторович
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
ivanviktd@gmail.com



Ковлаков Егор Витальевич
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
kovlakov.egor@physics.msu.ru



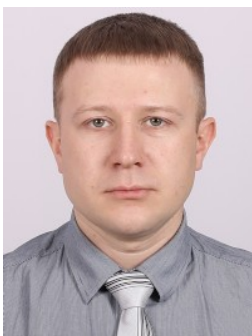
Кондратьев Илья Викторович
младший научный сотрудник физического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова
iv.kondratjev@physics.msu.ru



Кулик Сергей Павлович
доктор физико-математических наук, профессор
профессор физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
Sergei.kulik@physics.msu.ru



Лещинский Александр Петрович
кандидат технических наук
Преподаватель кафедры Черноморского высшего военно-морского
училища им. П.С. Нахимова
apl_1949@mail.ru



Малышев Дмитрий Николаевич
первый заместитель главного конструктора СКБ «Трансмаш-
спецтехника» АО «Уралтрансмаш»
ckb@uraltransmash.ru



Найденков Владимир Герасимович
доктор технических наук, старший научный сотрудник
старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
Naidenov@nrtb.ru



Першин Егор Васильевич
старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
egopersh@gmail.com



Подольский Александр Геннадьевич
доктор экономических наук, профессор
старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
podolskijag@mail.ru



Пономарев Александр Сергеевич
кандидат военных наук
преподаватель кафедры Военно-космической академии
им. А.Ф. Можайского
julysanchez217@mail.ru



Родин Артем Александрович
Старший научный сотрудник 46 ЦНИИ МО РФ
authors@viek.ru



Сосновских Никита Андреевич
начальник отдела АО «Уралтрансмаш»
skb@uraltransmash.ru



Страупе Станислав Сергеевич
кандидат физико-математических наук
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
straups@yandex.ru



Стручалин Глеб Игоревич
научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
glebx-f@mail.ru



Сысоев Николай Николаевич
доктор физико-математических наук, профессор
декан, заведующий кафедрой физического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова
nn.sysoev@physics.msu.ru



Щипанов Алексей Николаевич
кандидат технических наук
главный конструктор СКБ «Трансмаш-спецтехника» АО
«Уралтрансмаш»
skb@uraltransmash.ru

Об оценке вклада научно-технического задела в создание высокотехнологичной продукции военного назначения

А.И. Буравлев, В.Б. Артеменко

В статье исследована зависимость уровня готовности научно-технического задела от времени его доведения до готовности к реализации в проекте. Предложен аналитический вид функции готовности научно-технического задела от времени в виде функции случайной величины. Оценку вклада научно-технического задела в создание перспективных изделий военной техники предлагается проводить путем определения и расчета на моделях получаемого эффекта от применения изделия. Сформулирована задача обоснования состава задела с учетом ожидаемого эффекта и затрат.

научно-технический задел; готовность технологий; качество продукции; эффект применения; вооружение, военная и специальная техника; затраты; обоснование направлений развития

On the Matter of the Assessment of Scientific and Technical Backlog Contribution to the Advanced Technology Military Products Creation

A.I. Buravlev, V.B. Artemenko

Authors of the article study the dependence of scientific and technical backlog availability on the follow-through time of project realization readiness. An analytical form of scientific and technical backlog availability on readiness time function as a function of variate is suggested. There is a proposal to make scientific and technical backlog contribution assessment for the advanced military equipment creation by determination and estimation of gained effect models of the product application. Problem of the backlog structure justification with a glance of expected outcome and costs is defined.

scientific and technical premise; technology availability; product quality; application result; weapon, military and special equipment; costs; lines of development foundation

Квантовая обработка информации: фундаментальные и прикладные аспекты

И.Б. Бобров, Н.А. Борщевская, И.В. Дьяконов, И.В. Кондратьев, Е.В. Ковлаков, С.П. Кулик, С.С. Страупе, Г.И. Стручалин, Н.Н. Сысоев

Краткий обзор основных результатов фундаментальных и прикладных исследований в области квантовых технологий, относящихся к квантовым вычислениям/моделированию и квантовым коммуникациям, в частности: разработка и создание автоматизированных (без участия оператора) и регенеративных систем квантовой связи на основе волоконно-оптических линий связи и атмосферных каналов с наивысшей степенью защищенности, создание системы мультиплексирования для квантовых каналов связи, изучение физических процессов в сложных квантовых системах, разработка компонентной базы для квантовых компьютеров.

квантовые технологии; квантовая обработка информации; квантовая связь; квантовая криптография

Quantum information processing: fundamental and applied aspects

I.B. Bobrov, N.A. Borschevskaya, I.V. Dyakonov, I.V. Kondratiev, E.V. Kovlakov, S.P. Kulik, S.S. Straupe, G.I. Struchalin, N.N. Sysoev

A brief overview of the basic results of fundamental and applied research in the field of quantum technologies related to quantum computing/modeling and quantum communications, in particular: the development and creation of automated (without operator participation) and regenerative quantum communication systems based on fiber-optic communication lines and atmospheric channels with the highest degree of security, creating a multiplexing system for quantum communication channels, studying physical processes in complex quantum systems, development of a component base for quantum computers.

quantum technologies; quantum information processing; quantum communication; quantum cryptography

Применение метода стохастического динамического программирования при оценивании риска невыполнения программы разработки новых типов вооружения в заданный срок

В.Ф. Волков, А.С. Пономарев

Предложен подход к обеспечению гарантированного выполнения программы разработки новых типов вооружения в заданный срок. Разработана методика минимизации издержек, связанных с привлечением дополнительных инвестиций в ходе контроля реализации программы разработки новых типов вооружения. Алгоритм оптимальной корректировки процесса создания нового типа вооружения основан на использовании метода стохастического динамического программирования.

риск невыполнения требований заказчика; оценивание исполнимости; вероятностно-временная гарантия; принцип оптимальности

Application of a Stochastic Dynamic Programming Method in the Course of Risk Estimation of New Armament Development Program Timely Implementation Failure

V.F. Volkov, A.S. Ponomarev

An approach to new armament development program guaranteed timely implementation is suggested. It is developed a method of costs minimization concerned with additional investments in the course of new armament development program implementation. An algorithm of new armament development optimal adjustment is based on the stochastic dynamic programming method.

risk of client requirements failure; feasibility evaluation; stochastic-temporary warranty; principle of optimality

Полный жизненный цикл корабля. Ресурсно-процессный подход

А.П. Лещинский

В статье рассмотрены нормативно-правовые документы, касающиеся разработки си-

стемы управления жизненным циклом продукции военного назначения. Описаны факторы, сдерживающие разработку нормативно-технической базы системы управления полным жизненным циклом кораблей. Предложена модель анализа и ресурсно-процессный подход к системе управления полным жизненным циклом корабля.

жизненный цикл; корабль; управление жизненным циклом; нормативная документация; процесс; ресурс; ресурсоемкость; ресурсно-процессный подход

The Overall Ship Life Cycle. Resource-Process Approach

A.P. Leshchinskij

The article considers the normative legal documents concerning the development of the military product life cycle management system. The factors that hold back the development of technological normative framework of the ship overall life cycle system are described. An analysis model and resource-process approach to the ship overall lifecycle management system are proposed.

Life cycle; ship; life cycle management; normative documentation; process; resource; resource-intensiveness; resource-process approach

Постановка задачи оценки и анализа результативности и эффективности научной деятельности подразделений и научных работников научно-исследовательских организаций Минобороны России

А.Г. Подольский, А.А. Родин

В статье раскрыта суть понятий результативности и эффективности деятельности научных подразделений научно-исследовательских организаций Министерства обороны Российской Федерации и их работников. Сформирован состав показателей, характеризующих результативность и эффективность научной деятельности управлений (центров), отделов, лабораторий и их научных работников. Сформулирована постановка задачи

оценки результативности и эффективности научной деятельности и ее анализа.

научно-исследовательская организация; результативность научной деятельности; эффективность расходования бюджетных средств; эффективность использования научных кадров; эффективность научной деятельности

The Problem Statement of Effectiveness and Efficiency Evaluation and Analysis of the Research Departments and Organizations Researchers' Scientific Activities of the Ministry of Defense of the Russian Federation

A.G. Podolsky, A.A. Rodin

The article reveals the essence of the effectiveness and efficiency concepts of the scientific departments and research organizations of the Ministry of Defense of the Russian Federation and their employees. A set of indicators, that characterize scientific activities effectiveness and efficiency of the departments (centers), divisions, laboratories and their researchers, is formed. The problem statement of the scientific activity effectiveness and efficiency impact assessment and its analysis is formulated.

research organization; scientific performance; budget spending efficiency; scientific staff use efficiency; scientific activity efficiency

Методический подход к формированию рационального типажа средств траекторных измерений испытательного полигона Министерства обороны Российской Федерации

В.Г. Найденов, Е.В. Першин

В статье предложен методический подход, позволяющий сформировать рациональный типаж новых средств траекторных измерений, необходимых для оснащения наземного траекторного измерительного комплекса.

траекторный измерительный комплекс; испытания вооружения; типаж; рациональный состав; траектория; вектор средств

Methodological Approach to the Rational Type Formation of Trajectory Measurement Tool for the Test Site of the Ministry of Defense of the Russian Federation

V.G. Naydyonov, E.V. Pershin

The article offers a methodological approach making possible a rational type formation of new trajectory measurement tools required for equipment of the ground-based trajectory measurement system t.

trajectory measuring system; weapons testing; type; rational type; trajectory; means vector

Метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники

В.И. Бабенков, Д.П. Гасюк, В.А. Дубовский

Предложен метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники, базирующийся на комбинации дерева событий и теории нечетких множеств. Для процессов создания и эксплуатации образцов вооружения и военной техники характерно наличие большого количества неопределенностей, обусловленных воздействием множества факторов различной природы, проявление которых приводит к возникновению рисков при принятии решений заказчиком на этапах жизненного цикла. Учет рисков при помощи точного математического аппарата весьма проблематичен и неудобен в использовании должностными лицами, поэтому разработка предлагаемого метода является актуальной, а его применение позволяет получить достоверные количественные оценки риска реализации управленческих решений на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники.

требования заказчика; дерево событий; тактико-технические требования; лингвистическая переменная; нечеткие множества

Method of Risk Assessment at the Weapons and Military Equipment Samples Life Cycle Stages

V.I. Babenkov, D.P. Gasyuk, V.A. Dubovsky

A method based on the event tree and the theory of fuzzy sets combination is proposed. The joined application of this method makes it possible to obtain quantitative risk assessment of the management decisions implementation.

customer requirements; event tree; tactical and technical requirements; linguistic variable; fuzzy sets

Научно-технический задел и практическая целесообразность модернизации гусеничных шасси

Н.А. Сосновских, Д.Н. Малышев, А.Н. Шипанов

В статье рассматриваются особенности самоходных гаубиц 2С3М, 2С19, их модернизационный потенциал, а также модернизационный потенциал шасси данных изделий.

самоходная гаубица; шасси; модернизация

Scientific and Technical Backlog and Practical Feasibility of Caterpillar Chassis Modernization

N.A. Sosnovskikh, D.N. Malyshev, A.N. Shipanov

The article discusses the features of self-propelled howitzers 2S3M, 2S19, their modernization potential, and modernization potential of these products chassis as well.

self-propelled howitzer; chassis; modernization

Место и роль диверсификации и импортозамещения оборонного производства в обеспечении военной безопасности Российской Федерации

А.А. Адамов, Г.В. Бабкин

В статье проведен анализ основных факторов, воздействующих на систему обеспечения военной безопасности Российской Федерации, возникающих по ходу развития процессов диверсификации и импортозамещения в отечественном оборонно-промышленном комплексе, на основе чего обоснована необходимость повышения уровня управле-

мости этих процессов с целью недопущения снижения уровня обеспечения военной безопасности страны.

диверсификация; импортозамещение; система обеспечения военной безопасности; оборонное предприятие; оборонная компетенция

The Position and Significance of the Defense Production Diversification and Import Substitution in the Military Security of the Russian Federation

A.A. Adamov, G.V. Babkin

The article analyzes the main factors that affect the defense system of the Russian Federation in the course of the diversification and import substitution processes in the national military-industrial complex. On basis of this analysis, the need to increase the manageability of these processes is justified in order to prevent the defense level decrease.

diversification; import substitution; military security system; defense enterprise; defense competence

Рассуждение о диссертации: тема исследования

В.М. Буренок, Р.А. Дурнев

В статье рассматривается понятие темы диссертации. Она является знаком, раскрывающим в наиболее существенных чертах содержание диссертации. Корректное формулирование темы диссертации значительно облегчает ее экспертизу.

элемент диссертации, тема диссертации, вклад в науку, предмет исследования, научный результат, экспертиза диссертации, снижение издержек труда

Reasoning about a Dissertation: Research Issue

V.M. Burenok, R.A. Durnev

The article discusses the concept of a dissertation issue. It is a sign that reveals the most essential features of the dissertation content. Correct formulation of the dissertation issue makes easy its examination greatly.

element of the dissertation, dissertation issue, contribution to science, subject of research, scientific result, examination of the dissertation, labor costs reduction

Правила представления авторами рукописей

1. Для опубликования в журнале «Вооружение и экономика» (далее – Журнал) принимаются научные статьи и рецензии преимущественно по тематике военно-технической политики, экономики военного строительства, программно-целевого планирования вооружения, военной и специальной техники и государственного оборонного заказа, экономической и военно-экономической безопасности, военных финансов, военно-социальной политики, правовых основ экономики военного строительства, подготовки научных кадров.

Представляемая научная работа, как правило, должна соответствовать одной из следующих научных специальностей:

20.02.01 – Теория вооружения, военно-техническая политика, система вооружения;

20.01.07 – Военная экономика, оборонно-промышленный потенциал;

20.02.03 – Военное право, военные проблемы международного права;

20.02.14 – Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения.

Авторам рекомендуется в сопроводительном письме указывать научную специальность, по тематике которой подготовлена статья.

2. Рукописи публикаций в Журнале и прилагаемые к ним материалы представляются авторами по электронной почте на адрес rk@viek.ru. Одновременно подписанный автором (авторами) экземпляр рукописи и прилагаемые материалы высылаются на почтовый адрес: 129327, г. Москва, Чукотский проезд д. 10, Академия проблем военной экономики и финансов.

Рассмотрение статьи начинается с момента получения полного комплекта материалов в электронном виде. Принятие окончательного решения об опубликовании возможно не ранее получения оригиналов прилагаемых документов.

3. Рукопись представляется на русском языке в одном из следующих форматов **odt** (предпочтительно), rtf, doc, docx. Параметры

оформления: размер листа А4, все поля по 20 мм, ориентация страницы – книжная, шрифт – **Pt Sans** (предпочтительно) или Times New Roman; размер шрифта – 14 pt; межстрочный интервал – полуторный; расстановка переносов – автоматическая; выравнивание текста – по ширине; отступ первой строки абзаца – 1,25 см.

Не рекомендуется использовать кернинг (разреженный или уплотненный шрифт), подстрочные и надстрочные символы не следует применять вне формул.

В начале файла с рукописью статьи указываются фамилия, имя, отчество, ученая степень и ученое звание, адрес электронной почты и телефон автора. Если у статьи несколько авторов, перечисленные сведения указываются для каждого из них, при этом контактные данные (адрес электронной почты, телефон) могут быть указаны только для одного из авторов.

В статье помимо текста допускается наличие математических формул, рисунков и таблиц.

Математические формулы должны быть вставлены в файл как объект OpenOffice.org (LibreOffice.org) **Math**.

Каждая иллюстрация должна быть вставлена в виде отдельного объекта «изображение» («рисунок») в формате **SVG** (предпочтительно) без скриптов, анимации и «внешних» ссылок или в одном из общепринятых графических форматов (JPEG, TIFF, BMP, GIF, PNG). Рекомендуется формат GIF с прозрачным фоном. Допускается приложение отдельных файлов, содержащих включенные в статью иллюстрации. Подпись к рисунку не должна быть включена в рисунок.

Не рекомендуется применять сложное оформление таблиц: разнообразное обрамление, объединение и разбиение ячеек и т. п. В случае необходимости их использования таблицу рекомендуется оформлять в виде рисунка.

Подписи иллюстраций, заголовки таблиц, формулы, сноски, ссылки на литературу

оформляются в текстовом виде в соответствии с ГОСТом.

Учитывая, что издатель не использует пакет Microsoft Office и производит верстку в программе LibreOffice, **рекомендуем** перед отправкой в редакцию открыть направляемую статью в программе LibreOffice (OpenOffice) Writer с тем, чтобы убедиться в корректности отображения формул, таблиц, рисунков. Невыполнение данной рекомендации может привести к возврату статьи для приведения ее в соответствие с настоящими правилами и задержке с помещением ее в Журнал.

4. Статья должна оканчиваться списком использованных источников, в котором указываются только авторские произведения, подлежащие включению в систему Российского индекса научного цитирования (более подробную информацию о данной системе см. на сайте Электронной научной библиотеки: <http://www.elibrary.ru>). Список оформляется в соответствии с «ГОСТ Р 7.0.5-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Образцы оформления библиографических ссылок в соответствии с упомянутым стандартом приведены [на сайте](#) Журнала.

5. К рукописи должны быть приложены в отдельных файлах:

- заполненная карточка статьи по приведенной ниже форме;
- заполненная карточка автора (если авторов несколько, составляется на каждого автора) по приведенной ниже форме;
- заключение комиссии о возможности открытого опубликования статьи, утвержденное и заверенное печатью организации. В состав комиссии должен входить представитель службы защиты государственной тайны;
- фотография автора (авторов) в одном из общепринятых графических форматов: портретная, без посторонних людей в кадре, размер фотографии не менее 300 пикселей по горизонтали и 400 пикселей по вертикали (представляется по желанию);
- два экземпляра договора между издателем электронного научного журнала «Вооружение и экономика» и автором (авторами), подписанных авторами. Если авторы не желают заключать договор в письменной форме, то договор на тех же условиях считается заключенным в устной форме. Направляя на адрес редакционной коллегии рукопись, автор тем самым соглашается с условиями данного договора.

6. В случае несоответствия рукописи или прилагаемых материалов настоящим правилам ученый секретарь редакции возвращает их автору для устранения недостатков.

Порядок рецензирования рукописей

1. Рукописи, поступающие в редакцию журнала «Вооружение и экономика» (далее – Журнал), подлежат обязательному рецензированию (экспертной оценке).

2. Перечень специалистов, привлекаемых к рецензированию, утверждается главным редактором журнала. В рецензировании рукописей вправе участвовать члены редакционной коллегии Журнала. По решению редакционной коллегии для рецензирования могут привлекаться также иные специалисты, если среди перечисленных лиц отсутствуют эксперты по проблематике представленной статьи.

3. В течение недели с момента получения рукописи и прилагаемых материалов, оформленных в соответствии с требованиями Правил представления авторами рукописей, редакция направляет статью на рецензирование одному из экспертов, указанных в пункте 2 настоящего положения. При направлении статьи на рецензирование из нее удаляется информация об авторе.

4. Рецензент проводит рецензирование работы в течение одного месяца с момента поступления к нему рукописи. Если по каким-либо причинам рецензент не в состоянии провести экспертную оценку рукописи в установленный срок, он должен сообщить об этом главному редактору (заместителю главного редактора). Главный редактор (заместитель главного редактора) в этом случае вправе продлить рецензирования работы на срок до одного месяца либо передать рукопись на рецензирование другому рецензенту.

5. Если рецензент полагает, что он не может объективно оценить рукопись (вследствие конфликта интересов или по иным причинам),

он в течение пяти рабочих дней с момента получения рукописи возвращает ее в редакцию с указанием причины, по которой он не может выступить рецензентом.

6. После получения рецензии главный редактор (заместитель главного редактора) вправе направить рукопись на дополнительное рецензирование другому рецензенту.

7. Отрицательная рецензия высылается автору (авторам) рукописей на указанный ими адрес электронной почты без указания лица, проводившего рецензирование (анонимно). Положительные рецензии направляются авторам лишь по их просьбе.

При опубликовании статьи в Журнале редакция вправе указать информация о лице, давшем на нее положительную рецензию.

8. Рецензии представляются редакцией по запросам Минобрнауки России.

9. Автор, не согласный с рецензией, вправе в месячный срок представить свои возражения по ее содержанию.

10. После получения рецензии рукопись представляется ученым секретарем на ближайшем заседании редакционной коллегии. В случае если рецензия не является положительной (содержит замечания, указания на необходимость переработки, вывод о нецелесообразности опубликования в представленном виде и т. п.), представление на заседании редакционной коллегии производится не раньше, чем по истечении срока, указанного в п. 9 настоящего Порядка.

11. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Карточка статьи

	На русском языке	На английском языке
Название статьи		
Инициалы и фамилия автора (авторов)		
Авторская аннотация (не более 1000 знаков, включая пробелы)		
Ключевые слова (разделенные точкой с запятой)		

[Карточка статьи.doc](#)

Карточка автора

Фамилия	
Имя	
Отчество ^{*)}	
Ученая степень ^{*)}	
Ученое звание ^{*)}	
Место работы	
Должность	
Контактный телефон	
Адрес электронной почты	
SPIN-код ^{*)}	
Дополнительная информация ^{**)}	

^{*)} При наличии.

^{**)} Заполняется по желанию автора. Здесь могут быть указаны сведения, которые автор желает дополнительно сообщить о себе (наличие почетных званий и др.). Указание приведенных дополнительных сведений в Журнале остается на усмотрение редакции.

[Карточка автора.doc](#)

Условия подписки на полнотекстовую версию

Свободный доступ к полнотекстовой версии электронного научного журнала «Вооружение и экономика» осуществляется на сайте Министерства обороны Российской Федерации по адресу <http://sc.mil.ru/social/media/magazine/more.htm?id=10696@morfOrgInfo> либо на сайте журнала <http://www.viek.ru>.

Сведения о членах редакционной коллегии

1. **Александров Анатолий Александрович** – доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат премий Правительства РФ в области науки и техники, премии Правительства Российской Федерации в области образования, ректор Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.
2. **Ачасов Олег Борисович** – кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент РАН, заместитель начальника 46 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации по научной работе.
3. **Бочкарев Олег Иванович** – кандидат экономических наук, член-корреспондент РАН, заместитель председателя коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.
4. **Буренок Василий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, лауреат премии Правительства Российской Федерации, заслуженный деятель науки Российской Федерации, президент Российской академии ракетных и артиллерийских наук – *главный редактор*.
5. **Быстров Андрей Владимирович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики промышленности Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова.
6. **Венедиктов Андрей Альбертович** – доктор экономических наук, профессор, лауреат Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, ведущий научный сотрудник 46 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации – *заместитель главного редактора – ученый секретарь*.
7. **Викулов Сергей Филиппович** – доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, президент РОО «Академия проблем военной экономики и финансов» – *заместитель главного редактора*.
8. **Гладышевский Владимир Леонидович** – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника 46 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации по научной работе.
9. **Горчица Геннадий Иванович** – доктор военных наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, главный ученый секретарь Российской академии ракетных и артиллерийских наук.
10. **Горшков Владимир Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации.
11. **Кашин Валерий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, академик РАН, Герой Труда Российской Федерации, заведующий кафедрой Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, генеральный конструктор Научно-производственной корпорации «Конструкторское бюро машиностроения», лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий, лауреат премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

12. **Кокошин Андрей Афанасьевич** – доктор исторических наук, профессор, академик РАН, академик РАН, декан факультета мировой политики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.
13. **Лавринов Геннадий Алексеевич** – доктор экономических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, первый вице-президент Российской академии ракетных и артиллерийских наук – *заместитель главного редактора*.
14. **Леонов Александр Васильевич** – доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник 46 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации.
15. **Михайлов Юрий Михайлович** – доктор химических наук, профессор, академик РАН, академик РАН, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии Российской академии наук имени В.Н. Ипатьева в области технической химии, председатель научно-технического совета Военно-промышленной комиссии Российской Федерации – заместитель председателя коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.
16. **Рахманов Александр Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии Российской Федерации имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, лауреат премии Правительства Российской Федерации, заслуженный деятель науки Российской Федерации – заместитель генерального директора ПАО МАК «Вымпел» по научно-техническому развитию.
17. **Хрусталеv Евгений Юрьевич** – доктор экономических наук, профессор, заведующий лабораторией имитационного моделирования взаимодействия экономических объектов Центрального экономико-математического института РАН.
18. **Цельковских Александр Александрович** – доктор военных наук, профессор, заместитель начальника Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева по учебной и научной работе.