



УДК 623.9

*М.Ш. Гареев, Р.Е. Григорюнов, И.Н. Филатов***ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РИСКА
РАЗРАБОТКИ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ***M.S. Gareev, R.E. Grigoryunov, I.N. Filatov***DETERMINING THE LEVEL OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RISK
OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT DEVELOPMENT**

Рассмотрен подход к определению уровня научно-технического риска реализации требований к вооружению и военной технике на ранних этапах разработки. Приведен гипотетический пример, опирающийся на теоретические положения предлагаемого подхода.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ РАБОТА, РАЗРАБОТКА ОРУЖИЯ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РИСК, УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ.

A method assessment of scientific and technical risk of implementation of requirements for arms and military equipment in the early stages of development is considered in the article. A hypothetical example, based on the theoretical principles of the proposed approach, is described.

QUALITY ASSESSMENT, R & D WORK, WEAPON DEVELOPMENT, SCIENTIFIC AND TECHNICAL RISK, RISK MANAGEMENT.

В настоящее время существует объективная необходимость определения научно-технического риска реализации требований к вооружению и военной технике (ВВТ) на ранних этапах разработки. Результаты анализа рисков, возникающих в течение жизненного цикла изделия, позволяют сделать вывод о том, что наибольшее значение имеют риски, сопровождающие разработку ВВТ. Это обусловлено большой стоимостью разработки изделий с одновременно высокой степенью неопределённости конечного результата [1].

Разработка ВВТ как одна из стадий жизненного цикла состоит из нескольких этапов. Выполнение каждого из этапов заканчивается контрольными мероприятиями, призванными определить соответствие создаваемого образца ВВТ предъявляемым тактико-техническим требованиям (ТТТ). Очевидно, что наибольший интерес вызывает оценка научно-технического риска выполнения ранних этапов разработки [2, 8]. Рассмотрим порядок его определения, для чего требуется рассмотреть систему определений.

Научно-техническим риском РНТП, связанным с успешным завершением проекта (этапа проекта) П (разработкой научно-технической продукции (НТП)), называется вероятность того, что какой-либо из этапов (подэтапов) работ окажется неудачным и ход их выполнения будет прекращен.

Начальным научно-техническим риском РНТП(0) называется априорная (до начала выполнения проекта П) вероятность прекращения работ на каком-либо этапе (подэтапе).

Этапным научно-техническим риском РНТП(ЭП) называется вероятность прекращения работ по проекту П на этапе (подэтапе) n по причинам научно-технического характера или в дальнейшем при условии, что предыдущие этапы (подэтапы) Э1, Э2, ..., Э $_{n-1}$ были завершены успешно.

Потери (непроизвольные потери ресурсов) – это выделенные на разработку материальные средства, которые расходуются для компенсации возникающих различных абсолютно непредвиденных расходов. К ним следует отнести:

Т а б л и ц а 1

Оценки начального научно-технического риска

Качество признака	Характеристики состояний	RНТП(0)
Малое значение	Успех возможен, т. к. имеются прецеденты: Произведённый прогноз затрат на контроль показал, что денежные средства и время, отведённые на контроль, позволяют провести контроль всех характеристик продукции, в соответствии с обобщённым перечнем. Принято решение о типах испытаний, подготовлены все необходимые условия. Имеется квалифицированный персонал и программное обеспечение для обработки результатов контроля. Имеются квалифицированные эксперты для принятия достоверного решения о качестве продукции.	0,47
Среднее значение	Предложение технически осуществимо: Произведённый прогноз затрат на контроль показал, что денежные средства и время, отведённые на контроль, позволяют провести контроль характеристик продукции, в соответствии с оптимизированным перечнем. Принято решение о типах испытаний, подготовлены все необходимые условия. Имеется квалифицированный персонал и программное обеспечение для обработки результатов контроля и принятия решения.	0,68
Большое значение	Теоретически осуществима рискованная идея: Произведённый прогноз затрат на контроль показал, что денежные средства и время, отведённые на контроль, позволяют провести контроль лишь нескольких характеристик продукции из предполагаемого оптимизированного перечня. Принято решение о типах испытаний, подготовлены базовые условия. Отсутствует квалифицированный персонал и программное обеспечение для обработки результатов контроля и принятия решения.	0,85

возможные потери (ВП) резервов денежных средств, предназначенных для компенсации факторов неопределенности. Обусловлены они, как правило, ошибками, вызванными неточностью выбранного метода принятия решения;

потери первого рода (ППР), определяемые вероятностью прекращения разработки ВВТ по причине научно-технического характера;

потери второго рода (ПВР), возникающие из-за необходимости дополнительного финансирования заданной опытно-конструкторской работы (ОКР), выполняемой с отставанием от директивного срока;

потери третьего рода (ПТР), обусловленные запаздыванием начала серийного производства ВВТ из-за несвоевременности выполнения предыдущих этапов.

Далее вводится ряд допущений, имеющих принципиальное значение при оценке научно-технического риска:

процесс реализации проекта (этапа проекта) Π представляется в виде N последовательно выполняемых этапов (подэтапов) $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_{n-1}$ в соответствии с установленным планом-графиком работ;

финансирование проекта Π осуществляется поэтапно в момент начала выполнения i -го этапа (в момент t_i) при условии успешного завершения предыдущего этапа \mathcal{E}_{i-1} , $i = \overline{1, N}$;

вероятность успешного выполнения любого из этапов Π равна нулю при отсутствии финансирования;

вероятность прекращения процесса принятия решения о качестве продукции при успешном выполнении всех этапов Π равна нулю.

С учетом принятых допущений рассмотрим порядок определения научно-технического риска выполнения этапа проекта Π .

По признакам, интерпретированным к проекту Π , из табл. 1 выбирается значение научно-технического риска $RНТП(0)$ [5].

Качество признаков может иметь и другую градацию, отличающуюся от приведенной в табл. 1. Например, предельно низкое, почти низкое, чуть лучше, чем низкое, почти среднее, среднее, чуть лучше, чем среднее, почти высокое, высокое, чуть лучше, чем высокое, наивысшее. Очевидно, что в этом случае будут другие характеристики состояний и другие значения научно-технического риска, которые целесообразно определять с помощью энтропийного подхода с целью получения «оптимальных» коэффициентов.

Тогда для каждой градации качества признака можно рассчитать энтропию [6, 7]:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad (1)$$

где n – число характеристик каждого i -го состояния.

Следовательно, начальный коэффициент научно-технического риска в зависимости от качества признака будет представлять отношение H_j/H_{\max}

Далее рассчитываются значения научно-технических рисков для каждого подэтапа выполнения проекта Π с помощью выражения:

$$R_{HTП}(\mathcal{E}_{ni}) = R_{HTП}(0) \cdot K_{HTП}(\mathcal{E}_{ni}), \quad i = \overline{1, L}, \quad (2)$$

где L – количество подэтапов; $K_{HTП}$ – коэффициент научно-технического риска, значения которого определяются на основе статистических или экспертных данных.

В силу трудности сбора статистических данных предпочтение отдается методу экспертных оценок. Так, если для каждого этапа получить $K_{HTП} \max$ и $K_{HTП} \min$, то среднее значение (точечный прогноз), даваемое экспертом j , находится по зависимости:

$$\hat{K}_{HTПj} = \frac{1}{2}(K_{HTП} \max + K_{HTП} \min). \quad (3)$$

Точечный прогноз всей группы экспертов будет равен (при одинаковом доверии к каждому эксперту)

$$\hat{K}_{HTПгр} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{K}_{HTПj}, \quad (4)$$

где m – количество экспертов, привлечённых к работе в составе комиссии.

Разброс точечных прогнозов отдельных экспертов относительно $\hat{K}_{HTПгр}$ рассчитывается по формуле:

$$\hat{D} = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\hat{K}_{HTПгр} - \hat{K}_{HTПj})^2, \quad (5)$$

а коэффициент вариации, характеризующий степень единодушия экспертов по точечным прогнозам, – по выражению

$$V = \frac{\sqrt{\hat{D}}}{\hat{K}_{HTПгр}}. \quad (6)$$

Если предусмотрено выполнение этапа проекта Π в L - подэтапов, то значение научно-технического риска определяется с помощью соотношения

$$R_{HTП}(\mathcal{E}) = R_{HTП}(0) \cdot \prod_{i=1}^{L-1} K(\mathcal{E}_i), \quad (7)$$

где $K(\mathcal{E}_i) = R_{HTП}(\mathcal{E}_i) / R_{HTП}(\mathcal{E}_{i-1})$. (8)

Вероятность успешного завершения этапа может находиться с помощью рекуррентной зависимости, начиная с расчета величины P_n - вероятности успешного выполнения последнего подэтапа, т.е.

$$\begin{aligned} P_n &= 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_n); \\ P_{n-1} &= 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_{n-1}) / 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_n); \\ P_1 &= 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_1) / 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_k). \end{aligned} \quad (9)$$

Следовательно, вероятность «доживания» этапа Π до подэтапа \mathcal{E}_k (в зависимости от соотношения начального и текущего значений научно-технического риска) будет рассчитываться согласно выражения.

$$P_{\Pi v}(\mathcal{E}_k) = 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_{kn}) / 1 - R_{HTП}(\mathcal{E}_k), \quad (10)$$

где \mathcal{E}_{kn} - подэтап, с которого начат процесс принятия решения.

Если ввести начальное значение научно-технического риска $R_{HTП}(0)$, т.е. задать априорную вероятность прекращения этапа Π , то вероятность успешного завершения этапа проекта находится по зависимости.

Т а б л и ц а 2

Научно-технический риск

Подэтапы выполнения ЭП							
	Анализ данных, материалов и результатов ранее проведенных исследований, в том числе по зарубежным аналогам	Определение состава, назначения составных частей, основных тактико-технических характеристик, разработка схемы деления структурной варианты изделия	Оценка модернизационного потенциала, уровня стандартизации и унификации, расчет надежности, метрологического и эргономического обеспечения, обитаемости и технической эстетики	Оценка технико-экономических показателей	Проведение технической экспертизы ЭП	Доработка ЭП по результатам технической экспертизы	Оценка возможности серийного производства, приемка этапа
КНТП	0,69	0,56	0,44	0,35	0,22	0,10	0,08
РНТП (Эni)	0,47	0,38	0,30	0,24	0,15	0,07	0,06

$$P_{II} = 1 - R_{НТП}(\text{Э}_n) \cdot \frac{1 - R_{НТП}(0)}{1 - R_{НТП}(\text{Э}_n)}. \quad (11)$$

Рассмотрим порядок определения научно-технического риска выполнения этапа эскизного проектирования (ЭП) разработки учебно-тренировочного средства (УТС) пусковой установки ракетного комплекса (ПУ РК) [4] при условии, что известно об успешном завершении подэтапа проведения технической экспертизы.

Каждый этап стадии разработки считается завершенным после принятия результатов работы, т. е. проведения контроля качества научно-технической продукции.

Контроль качества включает следующие подэтапы: получение информации об исходных ограничениях по времени и материальным затратам, требуемой достоверности; формирование обобщенного перечня контролируемых характеристик; оптимизацию полученного множества характеристик, в соответствии с их значимостью и стоимостью; выбор стратегии

контроля, проведение контроля, сбор и обработку результатов контроля; принятие решения о качестве продукции.

Этап эскизного проектирования включает в себя следующие подэтапы [3, 9]:

анализ данных, материалов и результатов ранее проведенных исследований, в том числе по зарубежным аналогам;

определение состава, назначения составных частей, основных тактико-технических характеристик, разработку схемы деления структурной варианты изделия;

оценку модернизационного потенциала, уровня стандартизации и унификации, расчет надежности, метрологического и эргономического обеспечения, обитаемости и технической эстетики;

оценку технико-экономических показателей;

проведение технической экспертизы ЭП; доработку ЭП по результатам технической экспертизы;

оценку возможности серийного производ-

Т а б л и ц а 3

Вероятность успешного завершения подэтапов ЭП

Подэтапы выполнения ЭП							
	Анализ данных, материалов и результатов ранее проведенных исследований, в том числе по зарубежным аналогам	Определение состава, назначения составных частей, основных тактико-технических характеристик, разработка схемы деления структурной вариантов изделия	Оценка модернизационного потенциала, уровня стандартизации и унификации, расчет надежности, метрологического и эргономического обеспечения, обитаемости и технической эстетики	Оценка технико-экономических показателей	Проведение технической экспертизы ЭП	Доработка ЭП по результатам технической экспертизы	Оценка возможности серийного производства, приемка этапа
Pn	0,68	0,78	0,8	0,88	0,86	0,99	0,94

ства, приемку этапа.

Исходя из вышеизложенных положений решение задачи можно свести к следующей схеме. По признакам, интерпретированным к рассматриваемому проекту $П$, из табл. 1 выбирается величина начального научно-технического риска $R_{НТП}(0)$. Поскольку известно о завершении двух этапов: получения информации об исходных ограничениях по времени и материальным затратам, формирования обобщенного перечня контролируемых характеристик, то можно считать, что доказаны техническая осуществимость принятия достоверного решения о качестве продукции в планируемом периоде. Следовательно, из табл. 1 целесообразно выбрать значение $R_{НТП}(0) = 0,68$.

Рассчитываются величины научно-технических рисков для каждого подэтапа эскизного проектирования по формуле (2). При расчете используем наиболее распространенные на практике значения коэффициентов КНТП, полученных исходя из предпосылок, описанных в формулах (3 – 6). Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Определяются вероятности успешного вы-

полнения этапа эскизного проектирования с помощью зависимости (9). Итоговые результаты также представлены в табл. 3.

Рассчитывается значение научно-технического риска выполнения этапа эскизного проектирования при условии, что успешно завершён подэтап проведения технической экспертизы:

$$\begin{aligned}
 R_{НТП}(\mathcal{E}_L) &= P(\Pi_v / \mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_{L-1}) = \\
 &= 1 - \prod_{i=L}^n P_i = 1 - 0,68 \times 0,78 \times 0,8 \times 0,88 \times 0,86 = \\
 &= 0,68
 \end{aligned}$$

Результаты применения методики показывают, что научно-технический риск выполнения этапа эскизного проектирования УТС пусковой установки ракетного комплекса имеет относительно высокое значение даже при условии успешного завершения технической экспертизы.

Следует предположить, что данная методика может быть положена в основу определения прогнозных затрат на выполнение разработки образцов ВВТ [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Костогрызов А.И.** Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем: практическое руководство для системных аналитиков/ А.И. Костогрызов, П.В. Степанов. – М.: ВПК, 2008 – 404 с.
2. **Филатов И.Н.** Основы проектирования РСЗО и ПТРК [Текст]/ И.Н. Филатов, А.Е. Филюстин, Д.Л. Тукеев. – СПб.: МО РФ, 2002 – 176 с.
3. ГОСТ РВ 15.203–2001 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей. Основные положения. – М.: Госстандарт России, 2002 – 111 с.
4. **Сергеев С.Ф.** Виртуальные тренажеры: проблемы теории и методологии проектирования/ С.Ф. Сергеев//Биотехносфера. – 2010. – № 2 (8). – С. 15
5. **Дубров А.М.** Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе [Текст]/ А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталёв. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 172 с.
6. **Клейменов Ю.А.** Проблемы и особенности оценки соответствия оборонной продукции (работ, услуг) и связанных с ней процессов установленным требованиям/ Ю.А. Клейменов, В.В. Миронов, В.А. Щеглов// Вооружение и экономика. – 2012. – № 3 (19). – С. 4.
7. **Хинчин А.Я.** Понятие энтропии в теории вероятностей/ А.Я. Хинчин// Успехи математических наук. – 1953. – № 3 (55). – С. 3.
8. **Лутай Л.Н.** Метод агрегированной оценки риска научно-технического проекта, учитывающий степень новизны работ/ Л.Н. Лутай, Е.С. Яшина// Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2010. – №3(44). – С. 146.
9. ГОСТ РВ 0015–215–2010 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Организация и порядок проведения технической экспертизы в процессе разработки изделий. – М. Госстандарт России, 2011. – 20 с.
10. **Мартыщенко Л.А.** Военно-научные исследования и разработка вооружения и военной техники: учебник/ Л.А. Мартыщенко. – СПб.: МВАУ, 1993 – 184 с.

REFERENCES

1. **Kostogryzov A.I.** Innovative quality management and risk management in the life cycle of systems: a practical guide for systems analysts / A.I. Kostogryzov, P.V. Stepanov. – M.: VPK, 2008 – 404 p.
2. **Filatov I.N.**, Fundamentals of MLRS and ATMS [Text] / I.N. Filatov, A.E. Filyustin, D.L. Tukeyev. – SPb.: RF DoD, 2002 – 176 p.
3. **GOST RV 15.203 – 2001** System development and launch of new products. Military equipment. The order of the development work on the creation of products and their components. The main provisions. – M.: State Standard of Russia, 2002. – 111 p.
4. **Sergeev S.F.** Virtual simulators: theory and design methodology/ S.F.Sergeev//Biotechnosphere. – 2010. – №2(8). – p. 15.
5. **Dubrov A.M.** Simulation of risk situations in economics and business [Text] / A. Dubrov, B.A. Lagos, E.Yu. Khrustal'ov. – M.: Finances and Statistics, 2000. – 172 p. (rus.)
6. **Kleimenov Y.** Problems and features of conformity assessment of defense products (works, services) and related processes with the requirements / Y.A. Kleimenov, V.V. Mironov, V.A. Sh'eglov / / Weapons and Economy. – 2012. – № 3 (19). – p. 4.
7. **Khinchin A.Y.** The concept of entropy in probability theory / A.Y. Khinchin / / Advances Mathematical Sciences. – 1953. – № 3 (55). – p. 3.
8. **Lutai L.N.** Method aggregate risk assessment of scientific and technological project, taking into account the degree of novelty of the work / L.N. Lutai, E.S. Yashin / / Radio– electronic and computer systems. – 2010. – № 3 (44). – P. 146.
9. **GOST RV 0015– 215– 2010** System development and launch of new products. Military equipment. Organization and procedure of the technical expertise in the development of products. – M. State Standard of Russia, 2011. – 20 p. (rus.)
10. **Martyshchenko L.A.** Military research and development of weapons and military equipment: the textbook / L.A. Martyshchenko. – St. Petersburg.: MMAU, 1993 – 184 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

ГАРЕЕВ Марат Шамильевич – адъюнкт; Михайловская военная артиллерийская академия; 195009, ул. Комсомола, 22, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: mark-on@mail.ru

GAREEV Marat S – Mikhailovskaya Artillery Academy; 195009, Komsomola Str. 22, St. Petersburg, Russia; e-mail: mark-on@mail.ru

ГРИГОРЮНОВ Роман Евгеньевич – адъюнкт; Михайловская военная артиллерийская академия; 195009, ул. Комсомола, 22, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: grigoryunov@yandex.ru

GRIGORYUNOV Roman E. – Mikhailovskaya Artillery Academy; 195009, Komsomola Str. 22, St. Petersburg, Russia; e-mail: grigoryunov@yandex.ru

ФИЛАТОВ Игорь Николаевич – начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров; Михайловская военная артиллерийская академия; 195009, ул. Комсомола, 22, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: filin.05@mail.ru

FILATOV Igor N – head of Department of organization of scientific work and training of the teaching staff; Mikhailovskaya Artillery Academy; 195009, Komsomola Str. 22, St. Petersburg, Russia; e-mail: filin.05@mail.ru