УДК: 623.41

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И ОЦЕНКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РИСКОВ ПРИ СОЗДАНИИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЯЕМОГО ВООРУЖЕНИЯ

METHODOLOGICAL APPROACH AND SCIENTIFIC AND TECHNICAL AS WELL AS MANUFACTURING RISKS EVALUATION WHEN ARTILLERY GUIDED WEAPONS DEVELOPMENT

С.Л. Погорельский, *чл.-корр. РАРАН* ***А.В. Игнатов, А.Г. Подольский, А.Г. Кондратьев, И.Ю. Власова***

АО «КБП» им. А.Г. Шипунова

S.L. Pogorelsky, A.V. Ignatov, A.G. Podolsky, A.G. Kondratev, I.Yu. Vlasova

В статье приведена оценка научно-технических и производственно-технологических рисков, связанных с возникновением неблагоприятных событий, приводящих к превышению запланированных сроков реализации мероприятий по разработке и серийному производству артиллерийских комплексов управляемого вооружения (АКУВ).
Ключевые слова: артиллерийские комплексы управляемого вооружения, вероятность, риск, разработка, серийное производство.

The article herein below deals with evaluation of scientific and technical as well as manufacturing risks caused by unfavorable events appearance leading to scheduled terms prolongation for artillery guided weapons (AGW) development and serial production.
Keywords: artillery guided weapons, probability, risk, development, serial production.

В Сухопутных войсках решающая роль в огневом поражении противника принадлежит артиллерии. До 70-х годов XX века основными техническими решениями, определяющими облик артиллерии, было применение нарезного ствола, увеличение его длины, применение оптических прицелов, датчиков учета внешних условий. Настоящим прорывом в совершенствовании средств поражения наземных целей явилась разработка высокоточных комплексов ствольной артиллерии и минометов, к которым и относятся АКУВ [1].

В КБП создание АКУВ было положено Генеральным конструктором Аркадием Георгиевичем Шипуновым (1927–2013). В 1985 году был принят на вооружение 152-мм управляемый снаряд «Краснополь» с лазерным полуактивным самонаведением. Благодаря оригинальным схемным и конструкторским решениям снаряд «Краснополь» получил уникальное свойство — поражать первым выстрелом как неподвижные, так и движущиеся цели во всем диапазоне дальностей стрельбы.

Учитывая широкое распространение в армиях многих стран мира артсистем калибра 155 мм, в КБП был разработан экспортный вариант управляемого артиллерийского снаряда (УАС) «Краснополь-М2». Перспективность управляемых снарядов с лазерным полуактивным самонаведением и их высокие боевые возможности поставили задачу создания снарядов для артсистем полкового и батальонного звена калибров 120 и 122 мм. За-

дача была успешно решена созданием управляемых снарядов и мин: «Китолов-2» — для орудий калибра 120 мм, «Китолов-2М» — для орудий калибра 122 мм, управляемой мины «Грань» — для 120-мм минометов. На рис. 1 представлены образцы управляемого артиллерийского вооружения, разработанные в АО «КБП».

Процессы формирования прогнозных значений технико-экономических показателей АКУВ происходят, как правило, в условиях неопределенности, вызванной следующими основными факторами [2]:

– неполным знанием всех параметров и обстоятельств, характеризующих возможные ситуации, в которых будет осуществляться разработка и производство перспективного артиллерийского комплекса;

– невозможностью получения точной и полной информации о текущем состоянии научно-технической и производственно-технологической базы организаций-смежников, участвующих в создании АКУВ;

– наличием фактора случайности в нахождении инженерных и технологических решений, позволяющих создать артиллерийский комплекс.

Таким образом, при формировании плановых документов имеет место неопределенность, обусловленная отсутствием полной и достоверной информации о процессах разработки образца и его серийном производстве, которые будут реализованы в плановом периоде.

В ходе создания АКУВ и их производства осуществляется решение множества научных, технических и производственно-технологических

Рис. 1. Образцы управляемого артиллерийского вооружения, разработанные в АО «КБП»

задач, а также задач, связанных с подготовкой и расстановкой кадров требуемых специальностей. Данные задачи можно разбить на три группы.

Первая группа охватывает задачи, связанные с разработкой рабочей конструкторской документации (РКД), отражающей облик перспективного образца. Указанную группу задач решают научно-исследовательские и проектные организации (подразделения).

Вторая группа задач связана с разработкой технологической документации и изготовлением опытных и серийных образцов. Указанную группу задач решают проектные и производственные организации (подразделения).

Третья группа задач связана с серийным производством АКУВ.

Целесообразность деления на указанные группы задач обусловлена их решением в определенной временной последовательности и специфичностью используемых для этого материально-технических средств и привлекаемого персонала.

В соответствии с проведенным делением на указанные группы задач и учитывая присущую процессу создания АКУВ неопределенность, для характеристики указанного процесса вводятся два вида риска:

– научно-технический риск, связанный с возможностью наступления неблагоприятных событий, состоящих в превышении установленных план-графиком сроков решения научных и технических задач в процессе разработки АКУВ;

– производственно-технологический риск, связанный с наступлением неблагоприятных событий, состоящих в превышении установленных план-графиком сроков решения производственно-технологических задач в процессе разработки АКУВ и производства опытных и серийных образцов.

Так как АКУВ представляет собой сложную техническую систему, для создания которой привлекаются организации, оснащенные различными видами оборудования, применяющие специализированные технологии и имеющие высококвалифицированных работников, то для адекватной оценки указанных видов риска целесообразно предварительно выполнить декомпозицию образца на составные части, каждая из которых представляет собой подсистему (рис. 2). Для упрощения аналитических выкладок вводится условная

Рис. 2. Декомпозиция образца на подсистемы и этапы создания образца

подсистема, для создания которой выполняются работы по синтезу подсистем.

Для объективной и обоснованной оценки указанных видов риска процесс создания каждой подсистемы АКУВ представлен в виде последовательности выполнения следующих этапов:

1-й этап, состоящий в выполнении научно-исследовательской работы (НИР) по формированию научного задела (НЗ) для создания *i*-й подсистемы;

2-й этап, предусматривающий выполнение опытно-конструкторской работы (ОКР) по формированию технического задела (ТЗ) для создания *i*-й подсистемы;

3-й этап, состоящий в выполнении НИР по формированию НЗ в области промышленных технологий для перехода к созданию производственно-технологического задела (ПТЗ) для производства *i*-й подсистемы;

4-й этап, предусматривающий выполнение ОКР по формированию ПТЗ для производства *i*-й подсистемы;

5-й этап, состоящий в выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) по разработке АКУВ, созданного с использованием задела, полученного на первых четырех этапах;

6-й этап, предусматривающий создание производственно-технологической базы для серийного производства *i*-й подсистемы АКУВ в целом;

7-й этап — серийное производство АКУВ.

Для ускорения процесса создания АКУВ приведенные этапы могут пересекаться во времени.

При оценке научно-технических и производственно-технологических рисков, связанных с созданием подсистем и АКУВ в целом, необходимо учитывать состояния, в которых на момент начала реализации планируемого мероприятия по созданию артиллерийского комплекса будут находится интеллектуальная, техническая и технологическая составляющие научно-технической и производственно-технологической базы организаций.

Интеллектуальная составляющая представляет собой совокупность специалистов в соответствующей предметной области, участвующих в создании подсистемы; техническая составляющая — совокупность технических средств, моделирующих комплексов, лабораторной и экспериментальной базы, необходимого для производства опытных и серийных комплексов вооружения; производственно-технологическая составляющая — комплекс оборудования и технологий, используемых для опытного и серийного производства АКУВ.

В качестве количественной характеристики научно-технического и производственно-технологического риска рассматривается вероятность наступления неблагоприятного события, состоящего в превышении запланированных сроков разработ-

ки РКД (научно-технический риск) и разработки технологической документации, а также производства опытных и серийных образцов АКУВ. Указанный показатель является динамичным. Его величина зависит от планируемой продолжительности выполнения НИР и ОКР по созданию НЗ, ТЗ и ПТЗ по каждой подсистеме, а также продолжительности НИОКР по созданию АКУВ. На рис. 3 показан общий вид графика изменения риска невыполнения указанных мероприятий в зависимости от продолжительности их выполнения.

Состояние научно-технической базы организации, которая будет создавать *i*-ю подсистему, на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ зависит от результатов выполнения работ по созданию НЗ и ТЗ на первых двух этапах создания АКУВ.

Возможными состояниями НЗ и ТЗ организации, которая будет создавать *i*-ю подсистему на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ могут быть:

$S_{\text{НТЗ}i1}(T_{\text{Н}i1}, T_{\text{ТЗ}i1})$ — все задачи по созданию НЗ и ТЗ на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ были решены в ходе выполнения первого и второго этапов, где $T_{\text{Н}i1}$ — продолжительность выполнения НИР по формированию НЗ в ходе выполнения первого этапа для создания *i*-й подсистемы достаточна для решения всех задач по созданию НЗ; $T_{\text{ТЗ}i1}$ — продолжительность выполнения ОКР по формированию ТЗ в ходе выполнения второго этапа для создания *i*-й подсистемы достаточна для решения всех задач по созданию ТЗ;

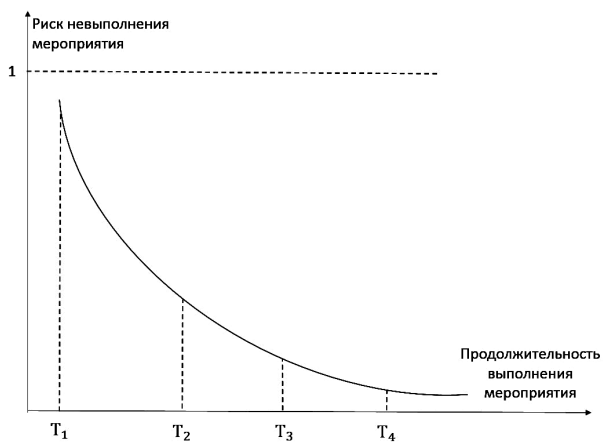

Рис. 3. Изменение риска невыполнения мероприятий в зависимости от продолжительности

$S_{\text{НТЗ}i2}(T_{\text{Н}i2}, T_{\text{ТЗ}i2})$ — незначительное количество задач по созданию НЗ и ТЗ на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ не решены в ходе выполнения первого и второго этапов создания комплекса, где $T_{\text{Н}i2}$ — такая продолжительность выполнения НИР по формированию НЗ в ходе выполнения первого этапа для создания *i*-й подсистемы, при которой незначительное количество задач по созданию НЗ не будут решены; $T_{\text{ТЗ}i2}$ — такая продолжительность выполнения ОКР по формированию ТЗ в ходе выполнения второго этапа для создания *i*-й подсистемы при которой незначительное количество задач по созданию ТЗ не будут решены;

$S_{\text{НТЗ}i3}(T_{\text{Н}i3}, T_{\text{ТЗ}i3})$ — все или значительное количество задач по созданию НЗ и ТЗ на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ в ходе выполнения первого и второго этапов создания АКУВ не решены, где $T_{\text{Н}i3}$ — такая продолжительность выполнения НИР по формированию НЗ для создания *i*-й подсистемы, при которой все или значительное количество задач по созданию НЗ в ходе выполнения первого этапа не будут решены; $T_{\text{ТЗ}i3}$ — такая продолжительность выполнения ОКР по формированию ТЗ для создания *i*-й подсистемы, при которой все или значительное количество задач по созданию ТЗ в ходе выполнения второго этапа не будут решены.

С учетом введенных состояний НЗ и ТЗ организации, которые будет создавать *i*-ю подсистему, могут быть определены вероятность наступления благоприятного события $A_{\text{РКД}i}$, которое заключается в непревышении запланированного срока разработки РКД для *i*-й подсистемы АКУВ, а также риск наступления неблагоприятного события $\overline{A}_{\text{РКД}i}$, заключающегося в превышении запланированного срока разработки РКД для *i*-й подсистемы. Для этого используются формулы:

$$P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\right) = P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i1}\left(T_{\text{Н}i1}, T_{\text{ТЗ}i1}\right)\right)\times$$
$$\times P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle| S_{\text{НТЗ}i1}\left(T_{\text{Н}i1}, T_{\text{ТЗ}i1}\right)\right) +$$
$$+ P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i2}\left(T_{\text{Н}i2}, T_{\text{ТЗ}i2}\right)\right)\times$$
$$\times P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle| S_{\text{НТЗ}i2}\left(T_{\text{Н}i2}, T_{\text{ТЗ}i2}\right)\right) +$$
$$+ P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i3}\left(T_{\text{Н}i3}, T_{\text{ТЗ}i3}\right)\right)\times$$
$$\times P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle| S_{\text{НТЗ}i3}\left(T_{\text{Н}i3}, T_{\text{ТЗ}i3}\right)\right),$$

$$P_{\text{РКД}i}\left(\overline{A}_{\text{РКД}i}\right)=1-P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\right),$$

где $P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)$ — вероятность того, что на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ НЗ и ТЗ для i-й подсистемы АКУВ в ходе выполнения первого и второго этапов будут находится в j-м состоянии;

$P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)$ — вероятность того, что РКД для i-й подсистемы АКУВ будет разработана в запланированные сроки, при условии, что НЗ и ТЗ для создания i-й подсистемы на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ будут находиться в j-м состоянии.

При этом выполняется равенство:

$$P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i1}\left(T_{\text{Н}i1},T_{\text{ТЗ}i1}\right)\right)+P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i2}\left(T_{\text{Н}i2},T_{\text{ТЗ}i2}\right)\right)+$$

$$+P_{\text{НТЗ}i}\left(S_{\text{НТЗ}i3}\left(T_{\text{Н}i3},T_{\text{ТЗ}i3}\right)\right)=1.$$

Так как научно-технический риск наступления неблагоприятного события $\overline{A}_{\text{РКД}}$, заключающегося в превышении запланированного срока разработки РКД, зависит от того, что не будут превышены запланированные сроки разработки РКД по всем подсистемам, то формула для определения значения указанного риска имеет вид:

$$P_{\text{РКД}i}\left(\overline{A}_{\text{РКД}}\right)=1-\prod_{i=1}^{N_{\text{П}}}P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\right),$$

где $N_{\text{П}}$ — количество подсистем в АКУВ.

Исходя из выделенных ассигнований на создание рассмотренных видов заделов и кадрового обеспечения (интеллектуальная составляющая научно-технической базы организации), экспертами оцениваются вероятности возможных состояний НЗ и ТЗ для разработки РКД для каждой подсистемы.

Если процесс разработки РКД для i-й подсистемы АКУВ может быть представлен в виде совокупности задач, то для оценки значений $P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)$ используется формула:

$$P_{\text{РКД}i}\left(A_{\text{РКД}i}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)=$$

$$=\prod_{k=1}^{N_{\text{ЗРКД}i}}P_{\text{РКД}ik}\left(A_{\text{РКД}ik}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right),$$

где $N_{\text{ЗРКД}i}$ — количество задач, которые требуется решить при разработке РКД для i-й подсистемы АКУВ;

$P_{\text{РКД}ik}\left(A_{\text{РКД}ik}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)$ — вероятность наступления события $A_{\text{РКД}ik}$, состоящего в том, что продолжительность решения k-й задачи при разработке РКД для i-й подсистемы не приведет к превышению запланированной продолжительности разработки РКД для i-й подсистемы, при условии, что НЗ и ТЗ для i-й подсистемы на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ будут находится в j-м состоянии. Значения вероятностей $P_{\text{РКД}ik}\left(A_{\text{РКД}ik}\middle|S_{\text{НТЗ}ij}\left(T_{\text{Н}ij},T_{\text{ТЗ}ij}\right)\right)$, j = 1, 2, 3 определяются экспертным способом.

Если процесс разработки РКД для i-й подсистемы представить в виде совокупности задач и оценить вероятности их решения не представляется возможным, то для определения вероятности разработки РКД для i-й подсистемы АКУВ в сроки, не превышающие плановые параметры, для различных состояний, в которых могут находится НЗ и ТЗ на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ, используется таблица.

Для оценки производственно-технологического риска необходимо учесть три возможных состояния НЗ в области промышленных технологий и ПТЗ для производства подсистем, которые будут созданы в результате выполнения третьего и четвертого этапов на момент начала НИОКР по созданию АКУВ. Первое состояние характеризуется тем, что все задачи по созданию НЗ в области промышленных технологий и ПТЗ для производства i-й подсистемы на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ решены в ходе выполнения третьего и четвертого этапов; второе состояние характеризуется тем, что незначительное количество указанных задач не будут решены; третье состояние характеризуется тем, что все или значительное количество задач не будут решены [3–6].

Используя введенные состояния, определяется производственно-технологический риск наступления неблагоприятного события $\overline{A}_{\text{ТДПО}}$, заключающегося в превышении запланированного срока разработки технологической документации и производства опытного образца. Для этого применяется методический аппарат, для определения наступления неблагоприятного события $\overline{A}_{\text{РКД}}$.

Таблица

Вероятность разработки РКД для i-й подсистемы АКУВ

Состояние задела, созданного в результате выполнения НИР и ОКР для *i*-й подсистемы	Качественная оценка возможности разработки РКД для *i*-й подсистемы	Вероятность разработки РКД для *i*-й подсистемы в запланированные сроки
Все задачи по созданию НЗ и ТЗ в ходе выполнения первого и второго этапов создания АКУВ на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ были решены	Высокая	0,99
Незначительное количество задач по созданию НЗ в области промышленных технологий и ПТЗ для производства подсистемы на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ не были решены	Средняя	0,8
Все или значительное количество задач по созданию НЗ в области промышленных технологий и ПТЗ для производства подсистемы на момент времени начала НИОКР по созданию АКУВ не были решены	Низкая	0,5

Готовность производственно-технологической базы организации для серийного производства *i*-й подсистемы требует наличия трех составных частей: производственных площадей, смонтированного и отлаженного оборудования, обученного персонала.

На основании изложенного можно сделать следующий вывод: если расчетные значения рисков, полученных с применением приведенного выше методического аппарата, окажутся выше приемлемого для заказчика уровня, то осуществляется разработка и реализация комплекса мер по их снижению. Такими мерами могут быть:

1. Заблаговременная подготовка соответствующих специалистов, владеющих новыми технологиями и навыками разработки инновационной продукции;

2. Закупка современного оборудования и загрузка производственно-технологической базы, необходимых для создания подсистем перспективного артиллерийского комплекса;

3. Поэтапное повышение уровня унификации составных частей артиллерийского комплекса.

Литература

1. Избранные труды академика А.Г. Шипунова: сборник публикаций. Под ред. А.В. Игнатова. В 3-х томах. Том 2. — М. «Изд-во «Граница». 2017. 600 с.

2. Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Роль и место неопределенности при разработке и применении экономико-математических моделей оценки продолжительности и стоимости мероприятий дорожных карт // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». МО РФ. 2019. № 4 (50). С. 55–61. http://www.viek.ru/43_rus.html

3. Петров Ю.А., Голубев С.С. Методические подходы к формированию научно-технического задела для развития вооружения, военной и специальной техники. Экономика и предпринимательство. 2018. № 2 (91). С. 1121–1127.

4. Смирно С.С., Горбунов В.В. Методический подход к оценке достаточности научно-технического задела для разработки перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2013. № 2 (23). С. 44–51.

5. Подчуфаров Ю.Б., Подчуфаров А.Ю. Проблемы проектирования комплексов управляемого вооружения. https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-kompleksov-upravlyaemogo-vooruzheniya/viewer

6. Подчуфаров Ю.Б., Спирин Е.Б., Вожакин С.Н. К проектированию комплексов управляемого вооружения // Известие ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 2. С. 67–70.