

**2024**  
**№1 (67)**

**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>	<h1 style="text-align: center;">Вооружение и экономика 2024. №1(67)</h1> <p style="text-align: center;"><i>электронный научный журнал</i></p> <p style="text-align: center;"><a href="http://www.viek.ru">http://www.viek.ru</a></p>
<p><i>Издаётся с 2008 года</i></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>Свидетельство о регистрации СМИ от 7 декабря 2012 г. № ФС77-52083</p> <p>ISSN 2071-0151</p> <p>Издатель: Российская академия ракетных и артиллерийских наук 107564, Москва, 1-я Мясниковская ул., д.3, стр.3</p> <p>Адрес редакции: 129327, Москва, Чукотский пр-д, д.10, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России. В редакцию журнала «Вооружение и экономика»</p> <p><a href="mailto:rk@viek.ru">rk@viek.ru</a></p>	<p style="text-align: center;"><i>Содержание</i></p> <h2 style="text-align: center;">ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА</h2> <p>Буренок В.М. <b>Формирование новых взглядов на применение беспилотных летательных аппаратов на основе анализа опыта специальной военной операции</b> ..... 5</p> <p>Мужичек С.М., Скрынников А.А., Маслова Л.А. <b>Концепция приемлемого риска потери ударного беспилотного летательного аппарата за счёт поражения его осколками собственных бомб</b>..... 9</p> <p>Абросимов В.К., Келоглян А.Х. <b>Онтология боевых свойств образцов перспективного вооружения</b> ..... 18</p> <p>Чуев В.Ю., Дубограй И.В., Маркелов Е.Б. <b>Исследование влияния систем наблюдения за боевыми единицами противника на исход боевой операции</b> ..... 29</p> <p>Бондарчук А.С., Зарубский В.П. <b>Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности</b>..... 33</p> <p>Горский А.С. <b>Комбинированный подход к моделированию квантового алгоритма Дойча</b>..... 40</p> <p>Батыршин Е.М., Вивчарь Р.М., Пачин А.В. <b>Концепция управления техническим состоянием оборудования на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта</b> ..... 49</p>

<p><b>Главный редактор</b> В.М. Буренок</p> <p><b>Редакционная коллегия</b> А.А. Александров О.Б. Ачасов В.И. Бабенков А.М. Батьковский С.И. Боков С.Г. Брайткрайц А.И. Буравлев С.Ф. Викулов (зам. гл. ред.) В.Л. Гладышевский (зам. гл. ред.) Е.В. Горгола П.А. Дроговоз Р.А. Дурнев Г.А. Лавринов (зам. гл. ред.) А.В. Леонов В.Г. Найденов А.Г. Подольский К.В. Сивков Е.Ю. Хрусталеv Д.В. Худяков (зам. гл. ред. – уч. секр.) А.А. Цельковских И.В. Чистов</p> <p><b>Оформление, верстка</b> Д.В. Худяков</p> <p><b>Редактор</b> Т.М. Молчанова</p> <p><b>Перевод</b> О.В. Криворучко</p>	<p style="text-align: center;"><b>ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА</b></p> <p>Гладышевский В.Л., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В. <b>Интерактивная модель оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск</b>.....57</p> <p style="text-align: center;"><b>МЕНЕДЖМЕНТ</b></p> <p>Голубев С.С., Цивилева А.Е. <b>Обеспечение кадрового суверенитета промышленных предприятий России в современных условиях</b> .....70</p> <p style="text-align: center;"><b>Дополнительные материалы</b></p> <p><i>Правила предоставления авторами рукописей</i> ..... 79</p> <p><i>Карточка автора</i> ..... 81</p> <p><i>Особенности распространения журнала</i> ..... 81</p> <p><i>Порядок рецензирования рукописей</i> ..... 82</p> <p><i>Сведения о членах редакционной коллегии</i>..... 83</p>
--	--

# ***ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА***

## ***Weapons and military equipment***

Научная статья  
УДК 623.5

## Формирование новых взглядов на применение беспилотных летательных аппаратов на основе анализа опыта специальной военной операции

Василий Михайлович Буренок

*Аннотация.* В статье приведены результаты анализа опыта боевого применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) тактического назначения на основе изучения открытых источников информации. Приведен перечень задач, которые решаются с помощью БПЛА в ходе боевых действий. Сделан вывод о том, что указанный опыт может послужить основой для формирования перспективной структуры системы БПЛА.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат; дрон; задачи дронов; разведка; поражение; минирование; разминирование; логистика

*Для цитирования:* Буренок В.М. Формирование новых взглядов на применение беспилотных летательных аппаратов на основе анализа опыта специальной военной операции // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 5-8.

Original article

## Formation of New Views on Unmanned Aerial Vehicles Employment Based on the Experience Analysis of the Special Military Operation

Vasilij M. Burenok

*Abstract.* The article presents the results of the experience analysis of the tactical unmanned aerial vehicles (UAVs) combat employment based on the study of open information sources. The list of tasks that are solved with the aid of UAVs in the course of combat operations is given. It is concluded that this experience can serve as a basis for an advanced UAV system structure formation.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle; drone; drone tasks; reconnaissance; defeat; mining; mine clearance; logistics

*For citation:* Burenok V.M. Formation of new views on unmanned aerial vehicles employment based on the experience analysis of the special military operation // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 5-8.

Неоспоримой важнейшей особенностью боевых действий в специальной военной операции (СВО) является массовое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

БПЛА как новый вид вооружения появились достаточно давно, пройдя многолетний путь от тяжёлых реактивных разведывательных систем, созданных на элементной базе старых реактивных истребителей, до специализированных БПЛА нескольких классов – стратегических разведывательных, оперативно-тактических, разведывательно-ударных и тактических разведывательно-ударных. Общего у них – специализированное промышленное изготовление с соответствующими ценами, в рамках оборонных заказов [1]. С этими «дорогими» БПЛА и началась специальная военная операция России на Украине. Но уже через пару месяцев на фронте появился новый класс БПЛА – лёгкие разведывательные дроны – коммерческие БПЛА массового производства, которые резко расширили разведывательные возможности подразделений, а также произвели настоящую революцию в корректировке огня и, как следствие, в точности поражения вооружения, военной техники и личного состава противника<sup>1</sup>.

Сегодня этот класс БПЛА стал важнейшим средством ведения разведки в тактической полосе [2]. Почти сразу эти БПЛА были оснащены системами сброса различных средств поражения (гранат, минометных мин и т.п.). Одновременно с этим оборонной промышленностью стали производиться и барражирующие дроны-камикадзе (часто используется другое название – FPV-дроны; FPV – First Person View, в переводе с английского буквально «вид от первого лица» – это аппарат, управляемый оператором). FPV-дроны существенным образом изменили характер боевых действий. Теперь любые перемещения людей и техники можно выполнять

<sup>1</sup> <https://politikus.info/v-rossii/157821-novoe-prostranstvo-voyny.html>

лишь в условиях строжайшего контроля за воздушной обстановкой, причём как днём, так и ночью. Ситуация на поле боя сегодня такова, что наступление роты может быть остановлено с огромными потерями для неё, всего пятью-шестью операторами БПЛА<sup>2</sup>.

Достаточная простота и возможность быстрого изготовления делают этот тип БПЛА массовым, объёмы производства которых могут измеряться сотнями тысяч в год<sup>3</sup>.

Учитывая особое влияние на эффективность боевых действий в тактическом звене, далее будем рассматривать особенности боевого применения только подобных БПЛА. Две важные функции этих аппаратов были уже упомянуты: *разведка (целеуказание) [3]* и *поражение ВВСТ и личного состава (ударные дроны)*. Но время и характер не только СВО, но и других военных конфликтов показали, что выполняемых тактическими БПЛА задач может быть гораздо больше, а спектр способов выполнения этих задач также постоянно расширяется.

Среди таких задач, как наиболее необычную, можно отметить применение тактических БПЛА в качестве *звуковещательных станций*. Их применяют израильтяне в секторе Газа, в частности, призывая палестинцев не оказывать сопротивления вооружённым силам Израиля, проводящим силовую операцию против Хамас<sup>4</sup>. Отмечены случаи применения дронов для подобных операций и российскими военными в зоне СВО. Но носят они пока скорее характер морально-психологического воздействия на противника путем вещания российских патриотических песен или гимна России<sup>5</sup>.

Имеются сообщения, что вооружённые силы Украины (ВСУ) стали применять ударные дроны, оснащенные в качестве средств поражения противопехотными минами направленного действия советского производства типа МОН-50, МОН-100, а также поставляемыми ВСУ американскими противопехотными минами подобного типа M18 Claymore<sup>6</sup>. Дрон оснащается взрывателем для дистанционного подрыва мины оператором такого БПЛА. При дальности сплошного поражения живой силы осколками мин МОН-50, составляющей до 58 метров в секторе 54 градуса (небронированной техники – до 30 м), подобный ударный дрон является крайне опасным оружием, существенно превосходящим по эффективности поражения личного состава дроны со сбрасываемыми боеприпасами и барражирующие дроны, по эффективности поражения небронированной техники – не уступающим барражирующим дронам с небольшой массой заряда. В случае же использования мин МОН-100 дальность поражения увеличивается втрое, но при этом сектор поражения составляет всего около 10 градусов. Однако из-за большой массы таких мин (МОН-100 имеет массу 5 кг, в то время как МОН-50 – 2 кг, а М18 – 1,6 кг) требуется применение для этого более грузоподъемных дронов, что является проблематичным.

Таким образом, еще одним направлением развития ударных дронов является *расширение зоны поражения личного состава и техники*. Следует отметить, что тактические барражирующие дроны промышленного производства также оснащаются все более мощными боевыми частями. Так, известный российский БПЛА типа «Ланцет» стал оснащаться боевой частью массой 5 кг (вместо прежней его модификации, где масса БЧ составляла 3 кг), а отечественный барражирующий боеприпас «Скальпель» способен нести уже до 10 кг взрывчатого вещества<sup>7</sup>. Есть информация, что ВСУ стали применять устройства для сброса с дрона серии из шести 82-мм минометных мин, превратив его в своеобразный *легкий бомбардировщик*<sup>8</sup>. Подобного рода работа ведется и за рубежом, в частности, в Нидерландах, где для сброса серии мин калибром 60-мм применяются устройства револьверного типа.

Тактические дроны стали применяться и *для минирования местности* как противотанковыми, так и противопехотными минами. Так, для установки мин типа ТМ-62 ВСУ применяются устройства сброса, который производится на малой высоте<sup>9</sup>. Вполне логично

<sup>2</sup> <https://politikus.info/v-rossii/157821-novoe-prostranstvo-voyny.html>.

<sup>3</sup> <https://eadaily.com/ru/news/2023/11/30/russkiy-vyzov-po-bespilotnikam-dolgo-zapryagaem-bystro-edem>

<sup>4</sup> <https://politikus.info/video/157588-izraelskie-drony-s-dinamikami-ugrozhayut-mirnym-zhitelyam-v-palestine.html>

<sup>5</sup> <https://rg.ru/2024/01/07/reg-pfo/na-pozicii-vsuo-otpravliaiut-drony-iz-kotoryh-zvuchit-gimn-rossii.html>

<sup>6</sup> <https://avia.pro/news/vsu-nachali-ispolzovat-na-bespilotnikah-mon-50-mon-100-i-claymore>

<sup>7</sup> <https://eadaily.com/ru/news/2023/11/30/russkiy-vyzov-po-bespilotnikam-dolgo-zapryagaem-bystro-edem>

<sup>8</sup> [https://vk.com/wall-123538639\\_3414040](https://vk.com/wall-123538639_3414040)

<sup>9</sup> Там же.

предположить, что для такого минирования могут применяться также и мины систем дистанционного минирования. Однако постановка протяженных минных полей вряд ли в этом случае будет возможна. Скорее всего речь может идти о так называемых «минных шлагбаумах», то есть об установке нескольких мин для перекрытия проходов в минных полях или минирования узкостей (на горных дорогах, бродах и т.п.).

Что касается противопехотных мин, то задача установки минных полей с помощью дронов может быть решена более эффективно в силу незначительной массы таких мин. Кроме того, известно, что ВСУ стали применять для установки противопехотных минных полей боеприпас, изготовленный на основе термобарического боеприпаса ТБГ-7В от советского гранатомета РПГ-7. Такие мины оснащаются наконечником, который фиксирует мину в вертикальном положении при падении ее на грунт (за счет втыкания наконечника в грунт), и реагирующим на движение датчиком. Мина срабатывает при приближении к ней человека или техники<sup>10</sup>.

Что касается подобного боеприпаса, то он используется и российскими военными в качестве средства поражения, сбрасываемого с дронов. Отмечается его высокая эффективность для поражения живой силы, расположенной на открытой местности и в легких фортсооружениях (окопы, блиндажи и т.п.)<sup>11</sup>.

БПЛА также стали применяться и для *разминирования*<sup>12</sup>, хотя такое применение пока осуществляется на основе кустарных разработок. Для выполнения этой задачи к FPV-дрону крепится тротиловая шашка с зажигательной трубкой. Сапер (оператор дрона) дистанционно опускает заряд прямо на мину. Затем беспилотник покидает опасный район и фиксирует подрыв со стороны. Такой способ разминирования актуален также по причине того, что некоторые мины устанавливаются на неизвлекаемость и на необезвреживаемость (первые оснащаются датчиком, инициирующим мину при попытке каким-либо образом переместить ее, вторые – при любом способе воздействия на нее). Очевидно, что такой способ разминирования возможен только в отношении мин, установленных на поверхности земли, которые можно обнаружить визуально. Мины, установленные в грунт, в снег или в высокую траву, с помощью оптических приборов обнаружить практически невозможно, что делает такой способ разминирования ограниченно применимым.

Однако и в направлении *разведки мин минных полей с помощью БПЛА* также есть новые разработки<sup>13</sup>. Так, специалисты Московского физико-технического института (МФТИ), а именно Центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) «Искусственный интеллект», на базе МФТИ создали такого рода георадар.

Георадар представляет собой радиолокатор, предназначенный для обнаружения и отслеживания объектов, находящихся под слоем грунта, воды или снежного покрова. Георадары – известная технология, но новизна в данном случае заключается в методах сбора и обработки полученных радаром данных при помощи технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Такие радары можно эффективно применить при гуманитарном разминировании территорий, заминированных в ходе боевых действий, в том числе в новых регионах РФ.

По словам специалистов МФТИ, дроны с георадарами дополнительно могут быть оснащены и газоанализаторами. Они позволят не просто обнаруживать взрывные устройства, но и определять используемый в них тип взрывчатого вещества. Интегральный эффект от использования такого набора сенсоров упростит и ускорит работу военных и оперативных служб, а также снизит риск поражения личного состава при срабатывании мин и других взрывоопасных предметов в процессе их обезвреживания.

Массовое применение БПЛА обеими сторонами конфликта на Украине привело к появлению многочисленных случаев преднамеренного тарана дронов противника. То есть стала проявляться *роль дрона как истребителя аналогичных средств противостоящей*

<sup>10</sup> <https://www.mk.ru/politics/2023/07/23/rossiyskiy-saper-rasskazal-ob-ustanovke-vsu-s-dronov-novykh-ter-mobaricheskikh-min.html>

<sup>11</sup> <https://topwar.ru/232817-bolshoj-razrushitelnyj-potencial-v-zapadnoj-presse-ocenili-primeneniye-vs-rf-ter-mobaricheskikh-boepripasov-tbg-7v-s-dronov.html>

<sup>12</sup> <https://rg.ru/2023/12/03/drony-obezvrezhivaiut-natovskie-miny.html>

<sup>13</sup> <https://www.gazeta.ru/tech/news/2023/09/19/21313436.shtml>

стороны. Пока действия БПЛА как истребителя – это некая импровизация оператора, им управляющего. Но уже появляются сообщения о создании специализированных дронов-истребителей. Так, группа компаний ZALA Aero (входит в группу компаний «Калашников» госкорпорации «Ростех») разрабатывает систему «воздушного минирования» против беспилотных летательных аппаратов<sup>14</sup>. В качестве таких мин используются дроны «Ланцет», разработанные ZALA Aero. Они патрулируют воздушное пространство и при обнаружении БПЛА противника уничтожают их таранным ударом. Недостаток такого «минирования» очевиден – это потеря не только БПЛА противника, но и дрона-истребителя.

В свою очередь Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» разработал БПЛА-истребитель «Кречет», который получил название «беспилотник-дробовик»<sup>15</sup>, оснащенный средствами поражения БПЛА массой до 30 кг без самоуничтожения самого дрона-истребителя. Дрон оснащен 30-мм дробовым ружьем-мортирой с зарядом дроби (картечи) массой 200 г, способной уничтожить цель на расстоянии до 40 м<sup>16</sup>.

Несомненно, важной задачей, которую способны выполнять БПЛА – это логистика [4]. О такой роли этих средств имеется ряд статей [5] и докладов на разных уровнях руководства, однако, до создания реальной *беспилотной транспортной системы* пока дело не дошло. Причины анализа такого положения лежат вне рамок данной статьи. Здесь же следует отметить, что в реальной боевой обстановке они для выполнения подобных задач уже применяются<sup>17</sup>. В частности, для доставки небольших партий боеприпасов и продовольствия.

Специальная военная операция в полной мере продемонстрировала высокий потенциал и несомненную ценность беспилотных летательных аппаратов разных классов при выполнении самых разнообразных задач, часть которых перечислена в статье. Большое значение имеет накопление, систематизация и изучение опыта применения БПЛА в условиях реального конфликта. Данный опыт послужит в дальнейшем формированию структуры парка БПЛА, в наибольшей степени соответствующего потребностям Вооруженных Сил России в современных войнах.

#### Список источников

1. Горчица Г.И. Роль и место роботизированных авиационных систем в современной войне. Прогноз развития беспилотной авиационной военно-транспортной системы // Вооружение и экономика. 2022. №2(60). С. 23-41.
2. Сильников М.В., Карпович А.В., Лазоркин В.И., Вишняков С.М., Пестерев С.Н., Цвятко К.Н. Научно-методическое обоснование способов применения беспилотных летательных аппаратов для разведки и поражения целей: монография. СПб.: НПО Спецматериалов, 2022. 412 с.
3. Баканеев С.А., Сильников М.В., Карпович А.В., Орлов С.А., Чернышев Ю.М. Применение беспилотных летательных аппаратов при управлении огнем артиллерии. СПб.: Первый ИПХ, 2023. 112 с.
4. Кутахов В.П., Буренок В.М. Перспективы применения и проблемы создания беспилотной авиационной военно-транспортной системы // Вооружение и экономика. 2022. №2(60). С. 12-22.
5. Буренок В.М. Современные мировые тенденции развития и применения систем материально-технического обеспечения // Вооружение и экономика. 2022. №2(60). С. 7-11.

#### Информация об авторе

В.М. Буренок – доктор технических наук, профессор.

<sup>14</sup> <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/607c0c399a79476048fc490f>

<sup>15</sup> <https://topwar.ru/219796-razvitiye-otechestvennyh-bpla-na-fone-specoperacii.html>

<sup>16</sup> [t.me/milinfo/113419](https://t.me/milinfo/113419)

<sup>17</sup> <https://svpressa.ru/war21/article/398829/>

Научная статья  
УДК 623.45

## Концепция приемлемого риска потери ударного беспилотного летательного аппарата за счёт поражения его осколками собственных бомб

Сергей Михайлович Мужичек, Андрей Александрович Скрынников,  
Лариса Александровна Маслова

*Аннотация.* Для решения задачи обоснования безопасных условий бомбометания ударными беспилотными летательными аппаратами предложена концепция приемлемого риска потери носителя за счёт поражения осколками собственных авиационных бомб. В качестве фонового риска рассматривается риск потери ударного беспилотного летательного аппарата за счёт противодействия средствами ПВО противника. Для расчёта приемлемого риска используется марковская модель.

*Ключевые слова:* ударный беспилотный летательный аппарат; боевое применение; безопасные условия; критерий приемлемого риска

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №23-29-00244.

*Для цитирования:* Мужичек С.М., Скрынников А.А., Маслова Л.А. Концепция приемлемого риска потери ударного беспилотного летательного аппарата за счёт поражения его осколками собственных бомб // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 9-17.

Original article

## A Concept of Acceptable Risk of Unmanned Combat Aerial Vehicle Loss due to its Destruction by of Its Own Bomb Fragments

Sergej M. Muzhichek, Andrej A. Skry`nnikov, Larisa A. Maslova

*Abstract.* A concept of an acceptable risk of carrier loss due to the destruction by their own aviation bombs fragments is proposed to the problem solution of the safe conditions substantiation by unmanned aerial vehicles bombing. As a background risk, the risk of combat unmanned aerial vehicle loss due to counteraction by enemy air defense means is considered. The Markov model is used to calculate acceptable risk.

*Keywords:* combat unmanned aerial vehicle; combat use; safe conditions; acceptable risk criterion  
The work was supported by the Russian Science Foundation, project No.23-29-00244.

*For citation:* Muzhichek S.M., Skrynnikov A.A., Maslova L.A. A Concept of Acceptable Risk of Unmanned Combat Aerial Vehicle Loss due to its Destruction by of Its Own Bomb Fragments // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 9-17.

В состав вооружения ударных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) входят неуправляемые авиационные бомбы (АБ) калибра до 500 кг. Современные прицельно-навигационные комплексы позволяют применять свободнопадающие бомбы с большой точностью, что позволяет с высокой эффективностью решать задачи поражения стационарных и ограниченно подвижных наземных целей.

Полёт АБ осуществляется по баллистической траектории, поэтому при снижении высоты точность попадания в цель повышается. Снижение высоты полёта БПЛА уменьшает также и вероятность поражения БПЛА средствами ПВО противника. Но при бомбометании с малых и предельно малых высот возникает риск поражения БПЛА осколками собственных АБ.

В настоящее время разработан и широко применяется научно-методический аппарат обеспечения безопасности боевого применения авиационных боеприпасов по наземным целям с пилотируемых ЛА [1]. Безопасность бомбометания с малых высот обеспечивается ограничением минимальной высоты сбрасывания, ограничением интервалов между ЛА при групповом бомбометании и др. Эти ограничения определяются из условий абсолютной безопасности, обусловленных наличием экипажа – практическое исключение

поражения самолёта осколками собственных бомб. При этом в качестве критерия безопасности принимается одно из следующих условий<sup>1</sup>:

осколки не накрывают самолёт-носитель;

осколки накрывают самолёт-носитель, но имеют нулевую относительную скорость в момент сближения;

осколки накрывают самолёт-носитель, но имеют малую скорость, при которой исключается возможность поражения самолёта.

При решении ряда практических задач третье условие формализуется следующим образом: исключить попадание в самолёт-носитель даже одного «опасного» осколка – осколка, способного пробить дюралевую обшивку толщиной 3 мм.

Применительно к БПЛА, на борту которого нет экипажа, предъявлять требования абсолютной безопасности нецелесообразно. Возникает необходимость определения допустимого риска потери ударного БПЛА при бомбометании с малых высот за счёт поражения осколками собственных авиационных средств поражения (АСП).

При боевом применении ударных БПЛА риск потери БПЛА связан с двумя факторами: противодействие средств ПВО противника и поражающие факторы собственных АСП при бомбометании с малых высот. Целесообразно минимизировать риск потери БПЛА за счёт выбора оптимальной высоты боевого применения. В качестве критерия может быть выбрана вероятность выполнения боевой задачи при заданной вероятности непоражения БПЛА от собственных АСП, или же, другими словами, при заданном приемлемом риске потери БПЛА за счёт поражения осколками собственных АСП.

Общие подходы, связанные с анализом и управлением рисками, разработаны в теории риска<sup>2</sup>. Под риском понимается сочетание вероятности опасного события и его последствия<sup>3</sup>. При решении задачи оценки опасности поражения БПЛА осколками собственных АБ под опасным событием будем понимать попадание осколков собственных АСП в БПЛА, последствиями которого является нанесение ущерба БПЛА. Тогда требование абсолютной безопасности (ни один осколок не должен попасть в БПЛА) характеризуется как достоверное отсутствие опасности (когда вероятность появления опасного события равна нулю), а требование условной безопасности (ни один «опасный» осколок не должен попасть в БПЛА) – достоверное отсутствие ущерба.

Исследование риска включает анализ риска и оценку риска. Анализ риска обеспечивает базу для оценки риска.

Очевидно, что источником риска является взрыв АБ, сброшенной с БПЛА-носителя или с другого БПЛА группы. При подрыве АБ формируются два поражающих фактора: ударная волна и осколочное поле поражения. Однако ударная волна не представляет опасности для БПЛА, находящегося на расстоянии нескольких сотен метров от точки подрыва.

Поэтому источником риска при подрыве собственных АБ остаются осколочные поражающие элементы. Осколки обладают большой кинетической энергией и способны разлетаться на достаточно большие расстояния и, соответственно, подниматься на большую высоту (сотни метров) и «висеть» в воздухе десятки секунд. Опасность заключается в возможности попадания высокоскоростных осколков в БПЛА и нанесении ему повреждений, приводящих к поражению БПЛА или к необходимости войскового или заводского ремонта.

Анализ риска попадания осколков собственных АСП требует рассмотрения широкого круга вопросов и проведения комплексного исследования в интересах обоснования безопасных условий бомбометания с БПЛА.

В первую очередь необходимо провести анализ неопределённостей, возникающих при решении задачи.

<sup>1</sup> Оценка эффективности и безопасности применения авиационных боеприпасов по наземным целям: учеб. пособие / Под ред. Р.С. Саркисяна. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1974. 171 с.

<sup>2</sup> Королёв В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска: учеб. пособие. М.: Физматлит, 2011. 620 с.; *с м. также* [2].

<sup>3</sup> ГОСТ Р 51901-2002. Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем. М.: Госстандарт России, 2002. 22 с.

К неопределённостям нестохастической природы можно отнести условия подрыва АСП, определяющие начальные условия разлёта осколков. Неопределённость условий подрыва обусловлена незнанием параметров подстилающей поверхности земли – при определённых условиях может быть рикошет, может быть изменено угловое положение АСП в течение времени замедления. В этой ситуации условия подрыва предлагается выбирать наилучшими для носителя, что обеспечивает гарантированную безопасность при наилучших условиях. При этом выбор наилучших условий подрыва является самостоятельной задачей, связанной со случайным разлётом и динамикой разлёта осколочных поражающих элементов.

К неопределённостям стохастической природы можно отнести: случайный характер осколочности АСП, что обуславливает даже при заданных условиях подрыва случайные начальные условия движения осколка (масса, вектор начальной скорости, баллистические характеристики); случайность событий «попадание» осколка в БПЛА и «поражение» БПЛА при условии попадания в него осколка. Для снятия неопределённостей стохастического характера ряд исходных данных задаётся случайными величинами с заданными законами распределения.

В условиях имеющихся неопределённостей необходимо решение основных задач: обоснование критериев безопасности БПЛА при бомбометании; разработка метода задания требований по безопасности БПЛА при бомбометании.

Критерием, в соответствии с которым условия бомбометания БПЛА считаются безопасными, является принадлежность значения показателя безопасности допустимой области. Под показателем безопасности будем понимать количественную меру риска потери БПЛА за счёт попадания осколков собственных АСП.

Риск  $R$  объединяет вероятность  $P$  опасного события (попадание осколков в БПЛА) и его последствия (ущерб  $U$ ).

Обозначим:  $\vartheta$  – вектор, описывающий условия накрытия осколками БПЛА (число осколков; для каждого осколка – масса, скорость, угол подхода, коэффициент формы, координаты точки попадания). Заранее неизвестно, какие условия накрытия будут реализованы; закон распределения вектора  $\vartheta$  определяется условиями подрыва АСП. В свою очередь условия подрыва – вектор  $\alpha$ , определяющий скорость АСП в момент подрыва, его пространственную ориентацию (с учётом возможного рикошета) – зависят от условий боевого применения. Условия боевого применения БПЛА описываются вектором  $H$ , включающим высоту сброса, скорость БПЛА в момент сброса, угол пикирования и др.

Ущербом  $U$  является поражение БПЛА вследствие накрытия осколками БПЛА. Поражение БПЛА – событие  $A$  – является случайным, тогда мерой ущерба  $U$  является вероятность наступления события  $A$  при заданных условиях накрытия.

Но исходя из принципа гарантированного обеспечения требуемого уровня безопасности в наилучших для БПЛА условиях, мерой ущерба будем считать максимально возможную вероятность наступления события  $A$  во всём диапазоне реализуемых при заданных условиях боевого применения  $H$  условиях подрыва  $\alpha$ , т.е.:

$$U = \max_{\alpha} P(A|\vartheta, \alpha, H) = P^*(A|\vartheta, H).$$

Риск  $R$  поражения БПЛА осколками собственных АСП определяется произведением:

$$R(H) = P(\vartheta|H)P^*(A|\vartheta, H).$$

Обозначим:  $R_{пр}$  – приемлемый риск. Тогда задача определения безопасных условий бомбометания с БПЛА сводится к нахождению такого множества  $H^*$  условий бомбометания, при которых выполняется условие  $R(H^*) < R_{пр}$ .

Ключевым вопросом при оценке безопасности БПЛА при бомбометании с малых высот является понятие «поражения». В соответствии с возможными состояниями БПЛА можно выделить два типа поражения осколками собственных АСП:

повреждения, которые приводят к безвозвратной потере БПЛА (БПЛА не способен вернуться на свой аэродром или же БПЛА получил такие повреждения, при которых ремонт нецелесообразен) – поражение по типу  $A$ ;

повреждения, которые приводят к необходимости ремонта после возвращения на аэродром базирования – поражение по типу  $B$ .

Введённые по аналогии с типами поражения воздушных целей при действии зенитных и авиационных средств поражения [3; 4] понятия поражения БПЛА позволяют, во-первых, определять количественные оценки вероятности случайного события «поражение» БПЛА осколками собственных АСП как показателя опасности и, во-вторых, определять уровни повреждения конструкции планера, элементов силовой установки и бортового оборудования.

Таким образом, опасность заключается в поражении БПЛА по типу  $A$  или по типу  $B$ . Риск как мера опасности характеризуется вероятностью реализации опасности, т.е. вероятностью поражения БПЛА по типу  $A$  или по типу  $B$ .

Безопасные условия боевого применения АСП определяются исключительно расчётным путём. Допустимый риск может быть определён на больших моделях боевых операций с применением ударных БПЛА в условиях противодействия ПВО различной интенсивности. Более простым и легко реализуемым способом оценки допустимого риска поражения БПЛА осколками собственных боеприпасов является использование теоретико-вероятностных моделей, в частности, моделей, основанных на теории марковских случайных процессов с дискретным временем.

В рамках данной модели принимаются допущения, что в каждый момент времени БПЛА может находиться в одном из возможных состояний, а переходы из состояния в состояние возможны только в дискретные моменты времени  $k = 1, 2, \dots$ , где  $k$  – номер вылета. Состояние  $s_1$  соответствует исправному состоянию БПЛА, состояние  $s_2$  – БПЛА поражён по типу  $A$ ,  $s_3$  – БПЛА поражён по типу  $B$ . Последовательность смены состояний представляет собой простую марковскую цепь, граф состояний которой приведён на рисунке 1. Состояние  $s_2$  является поглощающим.

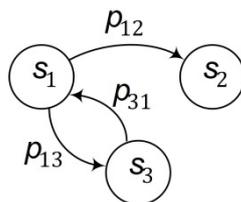


Рисунок 1 – Граф состояний марковской цепи

Рассмотрим эволюцию распределения вероятностей в рассматриваемой марковской цепи, когда поражение БПЛА (переход в состояния  $s_2$  и  $s_3$ ) возможно только за счёт противодействия ПВО противника (риск поражения осколками собственных АБ пока не учитывается).

Матрица переходных вероятностей будет иметь вид:

$$\|p_{ij}\| = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ p_{31} & 0 & p_{33} \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Вероятности переходов  $p_{ij}$  – перехода системы из состояния в состояние могут быть определены следующим образом. Введём случайную величину  $X$  – число вылетов БПЛА, совершённых до его поражения средствами ПВО противника (до поражения по типу  $A$ ) при заданной интенсивности ПВО. Будем считать, что по результатам моделирования (или экспертного опроса) известно среднее число  $M[X]$  вылетов до поражения ударного БПЛА средствами ПВО противника (поражения по типу  $A$ ). Тогда, принимая допущение о том, что условия боевого применения в целом не меняются, т.е. вероятность поражения БПЛА от вылета к вылету постоянна, можно считать, что случайная величина  $X$  подчиняется геометрическому распределению. Тогда:

$$p_{12} = 1/M[X]. \quad (2)$$

Вероятность  $p_{13}$  перехода в состояние  $s_3$  может быть задана из анализа частоты боевых повреждений БПЛА, требующих его ремонта. По мнению экспертов, для тяжёлых

БПЛА  $p_{13} > p_{12}$ , для средних  $p_{13} \approx p_{12}$ , а для лёгких  $p_{13} < p_{12}$ . Рассмотрим для примера тяжёлый БПЛА и примем в первом приближении  $p_{13} \approx 2p_{12}$ . Вероятность  $p_{31}$  будем считать гораздо меньшей, чем  $p_{13}$ . Примем  $p_{31} \approx 0,1p_{13} = 0,2p_{12}$ , т.е.:

$$p_{13} = 2p_{12}; \quad p_{31} = 0,2p_{12}; \quad p_{33} = 1 - p_{31} = 1 - 0,2p_{12}. \quad (3)$$

Тогда:

$$\|p_{ij}\| = \begin{vmatrix} 1 - 3p_{12} & p_{12} & 2p_{12} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,2p_{12} & 0 & 1 - 0,2p_{12} \end{vmatrix},$$

т.е. все элементы матрицы переходных вероятностей можно представить через вероятность  $p_{12}$ .

В начальный момент времени БПЛА находится в неповреждённом состоянии, т.е.  $p_1(0) = 1; p_2(0) = p_3(0) = 0$ .

Задача описания динамики рассматриваемой системы сводится к вычислению распределения вероятностей  $p_i(k)$  – вероятностей того, что система после  $k$ -го шага (боевого вылета) будет находиться в состоянии  $s_i$ . Эти вероятности могут быть вычислены с использованием рекуррентной формулы:

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^3 p_i(k-1)p_{ij}.$$

На рисунке 2 приведены результаты расчётов распределения вероятностей  $p_i(k)$  при  $M[X] = 20$  и при  $M[X] = 50$ .

В связи с тем, что среди состояний рассматриваемой системы существует поглощающее состояние  $s_2$ , то в установившемся режиме система будет находиться в этом состоянии. Предлагается рассматривать распределение вероятностей после  $k_M$  вылетов, где  $k_M = [M[X]]$  – среднее число вылетов, округлённое до ближайшего большего целого числа (так как  $M[X]$  может быть дробным),  $[\cdot]$  – операция округления до ближайшего большего числа. Целесообразность выбора момента  $k_M$  обусловлена устойчивостью получаемого решения при изменении  $M[X]$  в широком диапазоне (см. рисунок 2).

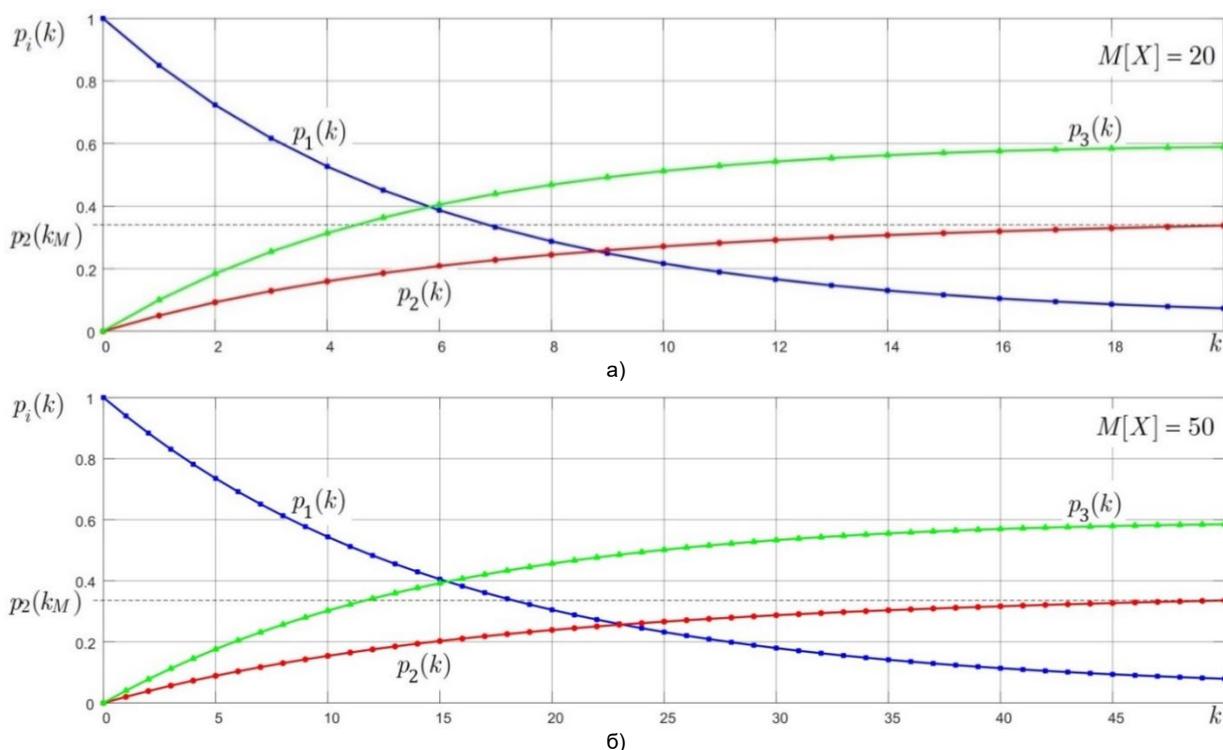


Рисунок 2 – Распределение вероятностей состояний системы при  $M[X] = 20$  (а) и при  $M[X] = 50$  (б)

Особый интерес представляет вероятность нахождения системы именно в состоянии  $s_1$  (БПЛА не поражён). Так, например, при заданных в (3) соотношениях вероятность того, что через 20 вылетов БПЛА останется в непоражённом состоянии, равна  $p_1(k_M) = 0,0791$  (при  $k_M = M[X] = 20$ ).

Для оценки уровня приемлемого риска поражения БПЛА осколками собственных АСП можно воспользоваться подходом, применяемым при обосновании безопасности опасных производственных объектов [5]. Допустимый риск определяется относительно некоторого так называемого фонового риска. Так, например, риск гибели персонала должен быть на несколько порядков ниже риска аварии (задаётся конкретно), риск гибели населения – ещё на несколько порядков ниже.

Тогда в рассматриваемой задаче в качестве фонового риска можно рассматривать риск потери БПЛА за счёт противодействия средствами ПВО противника за  $k_M$  вылетов. Риск потери БПЛА за счёт попадания осколков собственных БПЛА должен быть на несколько порядков ниже риска потери за счёт противодействия ПВО противника.

Предлагаемая концепция приемлемого риска потери БПЛА за счёт поражения осколками собственных АБ заключается в том, что безопасными условиями бомбометания с БПЛА будем считать такие условия, при которых в течение  $k_M$  вылетов риск поражения БПЛА осколками собственных АБ был бы на два порядка меньше, чем риск поражения БПЛА средствами ПВО противника.

Тогда приемлемый риск поражения БПЛА осколками собственных АБ при бомбометании (в одном вылете) может быть найден с помощью рассматриваемой марковской модели.

Обозначим:

$p_{\text{ПВО}}(k_M)$  – вероятность поражения БПЛА средствами ПВО противника за  $k_M$  вылетов:

$$p_{\text{ПВО}}(k_M) = p_2(k_M) + p_3(k_M) = 1 - p_1(k_M); \quad (4)$$

$p_{\text{оск}}(k_M)$  – приемлемая вероятность поражения БПЛА осколками за  $k_M$  вылетов;

$p_{\text{оск}}^{\text{пр}}$  – приемлемая вероятность поражения БПЛА осколками за один вылет.

Суть методики оценки приемлемого риска поражения БПЛА осколками собственных АБ при применении предлагаемой концепции приемлемого риска заключается в следующем. На моделях верхнего уровня (или по оценкам экспертов) определяется значение  $M[X]$  – среднее число боевых вылетов БПЛА, выполненных к моменту его безвозвратной потери. Определяются значения вероятности  $p_{12}$  по формуле (2), а также значения всех вероятностей матрицы (1). С использованием марковской модели рассчитывается распределение вероятностей  $p_i(k_M)$  через  $k_M$  вылетов, на основании чего по формуле (4) определяется вероятность  $p_{\text{ПВО}}(k_M)$ . Затем рассчитывается вероятность  $p_{\text{оск}}(k_M)$ :

$$p_{\text{оск}}(k_M) = p_{\text{ПВО}}(k_M) \cdot 0,01$$

и проводится моделирование с использованием той же марковской модели. В ходе моделирования определяется такое значение вероятности  $p_{\text{оск}}^{\text{пр}}$ , при которой за  $k_M$  вылетов вероятность поражения БПЛА за счёт обоих рассматриваемых факторов риска будет равна значению  $p_{\text{ПВО}}(k_M) + p_{\text{оск}}(k_M) = 1,01 \cdot p_{\text{ПВО}}(k_M)$ . Вероятность  $p_{\text{оск}}^{\text{пр}}$  и является искомой приемлемой вероятностью поражения по типу А БПЛА осколками собственных АСП (за один вылет).

Так, например, при  $M[X] = 20$  вероятность поражения БПЛА (по типу А) средствами ПВО противника за один вылет равна  $p_{12} = 0,05$ . Вероятность поражения БПЛА средствами ПВО за  $k_M$  вылетов равна  $p_{\text{ПВО}}(k_M) = 1 - p_1(k_M) = 1 - 0,0791 = 0,9209$ . Приемлемая вероятность поражения БПЛА осколками собственных АБ за  $k_M$  вылетов равна  $p_{\text{оск}}(k_M) = 0,01 \times 0,9209 = 0,0092$ . Тогда суммарная (за счёт ПВО и за счёт осколков) вероятность поражения за  $k_M$  вылетов не должна превышать значения  $p_{\text{ПВО}}(k_M) + p_{\text{оск}}(k_M) = 0,9209 + 0,0092 = 0,9301$ . Такая вероятность достигается при вероятности поражения БПЛА в одном вылете, равной 0,0539, откуда допустимая (приемлемая) вероятность поражения по типу А БПЛА осколками собственных АБ равна  $0,0539 - 0,05 = 0,0039$ .

Результаты моделирования по определению приемлемого риска  $R_{пр}$  поражения осколками собственных АБ за один вылет в зависимости от значения среднего числа боевых вылетов БПЛА, выполненных к моменту его безвозвратной потери, при заданных в (3) соотношениях приведены на рисунке 3.

Полученные результаты легко интерпретируются – в случае малой интенсивности противодействия ПВО противника требования по безопасности ужесточаются. Так, при  $M[X] = 10$  (мощная ПВО противника, среднее число вылетов до безвозвратной потери равно 10) приемлемая вероятность поражения осколками собственных АБ за один вылет равна 0,0079. При слабом противодействии ПВО противника (например, при  $M[X] = 75$ ) приемлемая вероятность гораздо меньше: 0,0010.

Результаты расчётов получены для заданного соотношения вероятностей переходов (3).

Соотношение вероятностей  $p_{12}$  и  $p_{13}$  определяется характеристиками уязвимости БПЛА, в частности, площадями уязвимых отсеков, поражаемых по типам  $A$  и  $B$ , и схемой уязвимости БПЛА. Так, отношение  $p_{13} = 2p_{12}$  определяет, что в заданных условиях поражение по типу  $B$  происходит в два раза чаще, чем по типу  $A$ .

Рассмотрим влияние коэффициента  $k$  в соотношении  $p_{13} = kp_{12}$ . С увеличением значения коэффициента  $k$  при неизменной вероятности поражения БПЛА в одном вылете по типу  $A$  растёт вероятность поражения БПЛА по типу  $B$ , т.е. вероятность поражения БПЛА по тому или иному типу поражения растёт. А как было показано выше, при увеличении вероятности потери БПЛА требования по безопасности при бомбометании снижаются. Это иллюстрируют результаты моделирования, проведённые при  $k = 1,0 \dots 2,5$  (см. рисунок 4).

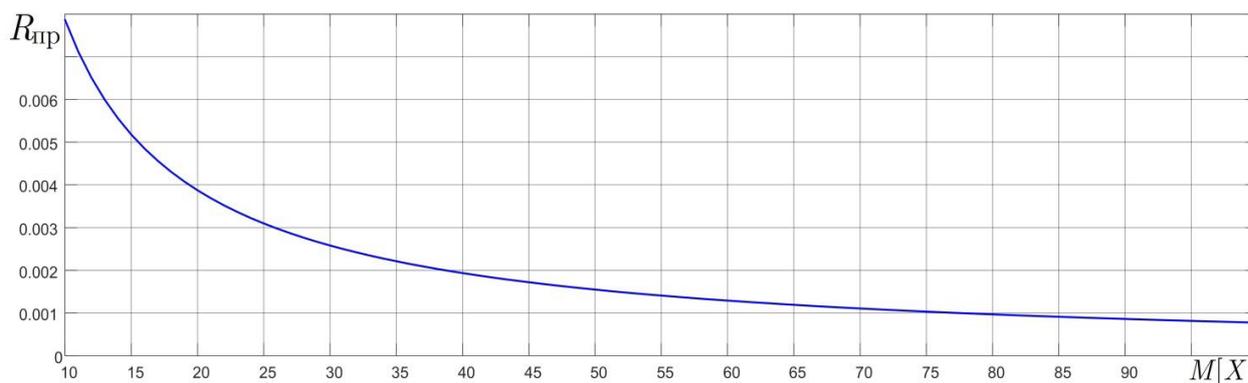


Рисунок 3 – Зависимость значения приемлемого риска от среднего числа боевых вылетов БПЛА

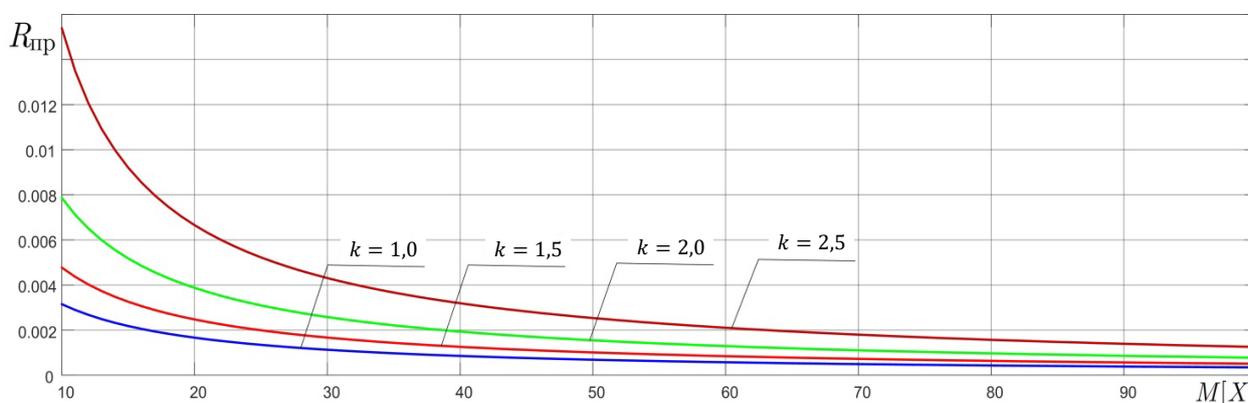


Рисунок 4 – Зависимость значения приемлемого риска от среднего числа боевых вылетов БПЛА при различном соотношении вероятностей поражения осколками собственных АБ БПЛА по типам  $A$  и  $B$

Конкретные соотношения вероятностей  $p_{12}$  и  $p_{13}$  могут быть определены при проведении сквозного моделирования бомбометания БПЛА при заданных условиях, в ходе которого проводится моделирование полёта БПЛА и АБ, разлёта осколков, поражающего действия осколков.

Таким образом, проведение сквозного моделирования позволит определить приемлемый риск  $R_{пр}$  потери БПЛА за счёт поражения осколками собственных АСП. Зная  $R_{пр}$  можно определить множество  $H^*$  условий бомбометания, при которых выполняется условие  $R(H^*) < R_{пр}$ .

Для реализации такого подхода необходима разработка системы имитационных моделей, включающей:

модели баллистики АБ и динамики полёта БПЛА при атаке и выходе из атаки;

модель осколочности АБ;

модель определения условий подрыва АБ;

модель баллистики осколочных поражающих элементов;

модель уязвимости БПЛА к действию одиночных осколков;

модель для оценки вероятности попадания осколков собственных АББ в БПЛА.

Программная реализация системы моделей позволит путём имитационного моделирования провести обоснования безопасных условий бомбометания БПЛА при одиночном и при групповом применении ударных БПЛА. По результатам расчётов могут быть предложены практические рекомендации в руководящие документы (в том числе и в «Руководство по боевому применению ударных БПЛА»).

## Заключение

Требование абсолютной безопасности при бомбометании с БПЛА в связи с отсутствием экипажа нецелесообразно. Обоснование безопасных условий бомбометания с БПЛА на основе концепции приемлемого риска позволит в значительной мере расширить условия боевого применения БПЛА. Снижение минимальной высоты бомбометания повысит выживаемость БПЛА в условиях противодействия ПВО противника.

Оценка опасности поражающих факторов взрыва АБ показала, что осколки собственных АСП способны нанести ущерб БПЛА-носителю, который может привести к поражению БПЛА.

С использованием теории риска проведены анализ риска и оценка риска. Предложена концепция приемлемого риска потери БПЛА за счёт поражения осколками собственных АБ, которая заключается в том, что безопасными условиями бомбометания с БПЛА считаются такие условия, при которых риск поражения БПЛА осколками собственных АБ был бы на два порядка меньше, чем риск поражения БПЛА средствами ПВО противника. Марковская модель смены состояний БПЛА позволяет оценить численные значения приемлемого риска, что даёт возможность с использованием сквозного моделирования определить безопасные условия бомбометания с БПЛА при их одиночном и групповом применении. Приведена структура системы имитационных моделей, необходимых для решения поставленной задачи.

## Список источников

1. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1978. 445 с.

2. Быков А.А., Порфирьев Б.Н. Об анализе риска, концепциях и классификации рисков // Проблемы анализа риска. 2006. Т.3. №4. С. 319-337.

3. Желязков Е.П., Комраков Н.Ю., Крысин А.В. Методические основы определения исходных данных по уязвимости воздушных целей для оценок эффективности стрельбы по ним малогабаритными ЗУР. Тверь: 2 ЦНИИ МО РФ, 2002. 68 с.

4. Комраков И.М., Желязков Е.П., Дмитрович Д.Г., Коростелёв С.Ю., Крысин А.В., Лексюткин В.В., Лопин Г.А., Маркова Л.И., Осмоловский Э.Ю., Скрынников А.А., Смагин П.В.,

Старостин С.В., Тузиков Л.В., Федосов Ю.А., Цурков М.Л., Чуваев В.Н. Характеристики уязвимости воздушных целей при действии осколочно-фугасных боеприпасов. Методы исследования: монография. Тверь: Полипресс, 2021. 499 с.

5. Гражданкин А.И., Печёркин А.С., Николаенко О.В. Об установлении допустимых уровней риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мероприятий в обосновании безопасности опасного производственного объекта нефтегазового комплекса // Безопасность труда в промышленности. 2017. №12. С. 51-57.

#### Информация об авторах

С.М. Мужичек – доктор технических наук, профессор;

А.А. Скрынников – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Научная статья  
УДК 623:005

## Онтология боевых свойств образцов перспективного вооружения

Вячеслав Константинович Абросимов, Артем Хоренович Келоглян

*Аннотация.* Внедрение современных информационных технологий в системы управления перспективного вооружения существенно расширяет спектр их боевых возможностей. В последнее время в дополнение к известным свойствам образцов вооружения, военной и специальной техники – надежности, живучести и др., сформировались такие свойства, как автономность, адаптивность, функциональная безопасность. Предложен подход к формированию онтологии боевых свойств образцов перспективного вооружения пяти основных классов. Представлены диаграммы и описания классов, их отдельных атрибутов. Формализация онтологии выполнена средствами программного комплекса Protégé. На конкретном примере неполной информации о зарубежном беспилотном вертолете FLIR Black Hornet PRS показано использование разработанной онтологии для решения задач получения новых знаний на основе заложенной в онтологию совокупности фактов и аксиом.

*Ключевые слова:* онтология; класс; перспективное вооружение; боевая эффективность; боевые свойства; тактико-технические характеристики

*Для цитирования:* Абросимов В.К., Келоглян А.Х. Онтология боевых свойств образцов перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 18-28.

Original article

## The Combat Properties Ontology of Advanced Weapon Samples

Vyacheslav K. Abrosimov, Artem X. Keloglyan

*Abstract.* The introduction of modern information technologies into the control systems of advanced weapons significantly expands the range of their combat capabilities. Recently, new properties of advanced weapons – autonomy, adaptability and functional have been formed in addition to reliability, survivability, etc. An approach to the combat properties ontology formation of advanced weapon samples of five main classes is proposed. Diagrams and description of classes and their individual attributes are presented. The ontology was formalized with the help of the Protégé software package. Using a specific example of incomplete information about the foreign unmanned helicopter FLIR Black Hornet PRS, the application of the developed ontology is presented to solve the problem of new knowledge acquiring based on the set of facts and axioms embedded into ontology.

*Keywords:* ontology; class; advanced weapon; combat effectiveness; combat properties; tactical and technical characteristics

*For citation:* Abrosimov V.C., Keloglyan A.K. The Combat Properties Ontology of Advanced Weapon Samples // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 18-28.

## Введение

Совокупность боевых свойств отражает качество образца вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и проявляется в способности наносить противнику ущерб. Само понятие «боевые свойства» в различных видах и родах ВС РФ трактуется различно. Боевые свойства существенно связаны с тактико-техническими характеристиками (ТТХ) образцов ВВСТ; с одной стороны, ТТХ реализуют боевые свойства, а требование реализации заданных боевых свойств определяет процесс формирования ТТХ. Такие не всегда явные зависимости активно используются при обосновании требований к перспективному вооружению.

Параметры и показатели боевых свойств могут выражать различную степень их проявления и интенсивности. В силу взаимозависимости боевых свойств возможно компенсировать одни боевые свойства более высокой интенсивностью других<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Моделирование и оценка боевых действий РВСН: учебник / Под ред. В.Д. Ролдугина. М.: ВА РВСН, 2005. 620 с.

Однако процесс формирования боевых свойств перспективных образцов вооружения до настоящего момента не формализован. Он основан на множестве неформализуемых процедур: экспертных мнениях, финансовых ограничениях, результатах математического и имитационного моделирования и прогнозных научных исследованиях, зачастую противоречивом опыте, боевых действий, анализе возможных сценариев боевого применения еще не созданных видов оружия и др. Вместе с тем, в конечном итоге заказчик перспективного образца вооружения оперирует определенным набором сущностей, классов, атрибутов сущностей и классов, значениями атрибутов; при этом многие экономические, финансовые и политические ограничения фиксируются устно и строго, как аксиомы. В этом отношении боевая эффективность перспективного образца вооружения может рассматриваться как сущность высшего уровня. Его боевые свойства подразделяются на сущности второго и более низших уровней, в свою очередь разделяемые на классы, параметры боевых свойств как атрибуты классов и значения параметров как экземпляры атрибутов.

В результате, формирование конкретных тактико-технических данных к перспективному образцу вооружения представляет собой, с одной стороны, крайне гибкий процесс согласования разнородных данных различной природы и степени неопределенности, а с другой – жесткие ограничения, выраженные в виде неформальных аксиом. Возникает естественный вопрос – как придать упорядоченность такому процессу?

Решение представляется в использовании онтологического подхода.

Онтологии как формализованные модели предметной области (ПрО) формируются экспертами, могут учитывать разнообразные знания, реализовывать не только отдельные мнения, но также создаваться автоматически на основе рассуждений с учетом ограничений, легко поддаются модификации при необходимости, позволяют формализовать постановки задач. В процессе наполнения такой модели экземплярами реальных данных и получается граф знаний.

## 1. Краткий обзор литературы

В работе [1] проведен большой обзор литературы по теории и проектированию различных онтологий. Здесь мы конкретизируем работы, связанные с решением прикладных задач с использованием онтологического подхода. Наиболее интересные публикации в этом направлении размещены в журнале «Онтология проектирования».

Достаточно часто онтологический подход используется при создании систем поддержки принятия решений. Так, в работе [2] онтология включена со статусом компоненты в состав цифрового двойника транспортного средства совместно с базой знаний, экспертной компонентой и др. Она используется для построения специальных онтологий технического сервиса (по сути проекта технического обслуживания), ориентированного на агропромышленное производство.

В статье [3] выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления для решения прикладной задачи принятия стратегических решений по развитию энергетики с учетом требований по безопасности. Онтологии представлены в графическом виде с интеграцией разнородных понятий исследуемой ПрО.

В работе [4] выделены возможные направления применения онтологического моделирования в проектном управлении и средствами редактора онтологий Protégé реализована онтология типового проекта. В задаче формирования проектной группы простые графы и графы знаний рассматриваются в виде векторных представлений.

В работе [5] сущности отображаются с точки зрения различных процедур и операций проектирования, объединяются процессом проектирования и являются связующими между проектными процедурами и операциями. Их онтология образует некоторый «скелет», а выявленный порядок объединения сущностей используется в проектировании научно-производственной системы.

В работе [6] рассмотрены основные принципы и предлагаемый методический подход к обоснованию уровневых значений показателей боевых свойств перспективных авиационных комплексов, которые могут быть применены для обоснования перспектив развития и других образцов ВВТ различного целевого значения.

Наиболее близко к рассматриваемой тематике относится работа [7]. В ней приведен порядок решения прикладных задач с использованием онтологий. Показано, что сначала создается онтология, описывающая статическую часть ПрО: классы объектов, атрибуты, отношения. Далее описывается динамическая часть: классы процессов, действий, бизнес-процессы, события. На основании онтологии создается набор моделей, которые описывают непосредственно объекты решаемой задачи, на данном этапе определяются значения атрибутов объектов, отношения между ними. После того как все необходимые модели готовы, на основании них создается сцена, которая используется для решения прикладных задач. Наиболее ценным здесь представляется идея взаимодействия онтологического подхода и мультиагентных технологий; модули логического вывода для решения задач используют агентную модель.

## 2. Онтологический подход к формализации предметной области «Боевые свойства перспективного вооружения»

Онтологии являются разновидностями графовых моделей (ГМ) и они представляет собой формальную спецификацию, состоящую из иерархии понятий ПрО, связей между ними и ограничений, которые действуют в рамках этой модели. Термин «онтология» связывают с термином «граф знаний»; указанное преобразование происходит при наполнении онтологии экземплярами понятий. Построение ГМ, как правило, осуществляется путём привлечения экспертов.

Использование ГМ позволяет построить структурную схему исследуемой ПрО, наглядно и понятно представить то, как связаны и взаимодействуют её объекты. Использование современного математического аппарата для анализа ГМ позволяет устанавливать ранее неизвестные связи, зависимости и закономерности, отслеживать изменения различных характеристик. Особая ценность ГМ заключается в том, что они предоставляют формальный аппарат для плохоформализуемых задач, требующих учёта как количественных, так и качественных параметров, в том числе в условиях неопределённости.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021<sup>2</sup> при разработке онтологий сущностями являются объекты, подлежащие восприятию или осмыслению, классами – расширения общих сущностей, отношениями – способы связей сущностей, атрибутом сущности – поименованная характеристика, являющаяся некоторым свойством сущности, экземпляр атрибута – определенная характеристика (значение) конкретного атрибута сущности, аксиомами – утверждения (предложения на естественном языке или формулы на формальном языке), которые считаются истинными и служат предпосылкой для дальнейшего обоснования.

Рассмотрим онтологический подход к формализации ПрО «Боевые свойства перспективного вооружения». Онтологическая модель будет представлять собой кортеж:

$$O = (C, P, E, F, L, AC),$$

где  $C$  – множество понятий (классов);  $P$  – множество отношений (свойств);  $E$  – частичный порядок на множествах  $C$  и  $P$ , задающий отношение «подкласс»;  $F$  – функция, которая каждому элементу множества  $P$  ставит в соответствие элемент (элементы) из множества  $C$ ;  $L$  – множество текстовых меток для понятий и отношений;  $AC$  – набор утверждений (аксиом онтологии).

Типовым утверждением является так называемый «триплет» – это базовый «факт», то есть элементарное высказывание о некоторых знаниях. Триплет выражается через отношения фактов. Типовая модель триплета – «субъект – предикат – объект». При этом сущность – «субъект» может быть связана с другой сущностью или простым значением – объектом – через некоторое свойство – предикат.

На практике предикатов как связей сущностей достаточно много. Примеры предикатов: «относится к» («подтип» или «подкласс»), «часть чего-либо», «член чего-либо», «конкретизирует», «следует за», «часть чего-либо», «температура чего-либо» и др.

<sup>2</sup> ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 1. Требования. М.: Росстандарт, 2021. 28 с.

Например, триплет «Университет МГУ – находится в – Москва» связывает именованные сущности «Университет МГУ» и «Москва» посредством предиката «находится в». Триплет «Университет МГУ – основан – 12.01.1755 г.» связывает атрибут «основан» сущности «Университет МГУ» со значением даты «12 января 1755 г.». Триплет «Университет МГУ – type – Университет» говорит о принадлежности сущности «Университет МГУ» к множеству университетов.

Онтологическую модель построим для пяти видов перспективного вооружения:

1. Перспективные боевые робототехнические комплексы.
2. Перспективные беспилотные летательные аппараты.
3. Перспективные безэкипажные корабли.
4. Перспективные автономные необитаемые подводные аппараты.
5. Перспективные средства направленного действия.

Проведенные исследования показали, что в целом сущностью первого уровня для всех видов вооружений является боевая эффективность. Анализ показывает, что более чем на 50-60% сущности второго уровня совпадают, что дает возможность некоторой унификации решений по выработке тактико-технических требований к перспективному образцу вооружения. Однако если названия классов, которые составляют сущности второго уровня, и совпадают, то их содержание трактуется для различных видов перспективного вооружения различно. Это же относится и к атрибутам, что объяснимо спецификой функционирования и боевого применения образцов вооружения.

Экспертиза, проведенная среди 14 высококвалифицированных экспертов в области систем вооружений (представители сухопутных войск, авиации, связи и др.), совместно с анализом доступной литературы [1; 3; 4 и др.] позволила выделить следующие основные отношения между сущностями данной ПрО: является частью, содействует, обеспечивает, способствует, определяет, измеряется, зависит от, описывается, характеризуется, включает, применяется к, состоит из, является показателем.

Боевые свойства робототехнических комплексов включают огневую мощь, надежность, защищенность, подвижность и др. В последних исследованиях [8] в боевые свойства также включают автономность, адаптивность и безопасность функционирования. В свою очередь защищенность включает классы «Стойкость» и «Живучесть». В разработанной онтологии боевых свойств выделено пять основных атрибутов стойкости (пылезащищенность, влагозащищенность, вибропрочность, стойкость к ударным нагрузкам, стойкость к температуре окружающей среды) и четыре атрибута «живучести» (время активного существования, устойчивость к воздействиям среды, структурная прочность, способность к самовосстановлению).

Боевые свойства оружия направленной энергии включают практически такие же сущности: огневую мощь, защищенность, надежность, подвижность и др. Однако классы в этих сущностях иные. Так, к классам огневой мощи относятся быстродействие, досягаемость с атрибутами углов возвышения и склонения, точность «стрельбы» (атрибуты – кучность, меткость, среднее отклонение рассеивания, суммарная средняя ошибка подготовки стрельбы и др.) и отличительное свойство оружия направленной энергии – так называемое «могущество» с атрибутами мощности излучения, плотность мощности излучения на цель, площади «пятна» излучения. Интересны и характерные атрибуты такой сущности, как «беззапас». Для оружия направленной энергии он характеризуется энергоемкостью комплекса, которая, в свою очередь, определяется потребляемой мощностью источников излучения, емкостью энергоносителей и скоростью подзаряда системы.

Боевые свойства беспилотной авиации включают дальность полета, вес полезной нагрузки, уязвимость, ремонтпригодность и др. боевые свойства. Новым в боевом применении является свойство «способность к жертвенности» [9], которое в полной мере проявилось в ходе проведения специальной военной операции на Украине.

Боевые свойства безэкипажных кораблей включают автономность плавания, маневренность, живучесть, скрытность, мореходность и др. При этом автономность плавания трактуется (по аналогии с обычными кораблями) специальным «морским» принципом – возможностью автономного плавания без захода в порт для пополнения необходимых припасов.

Боевые свойства автономных необитаемых подводных аппаратов включают также автономность плавания, способность обхода препятствий, маневренность, поворотливость и др.

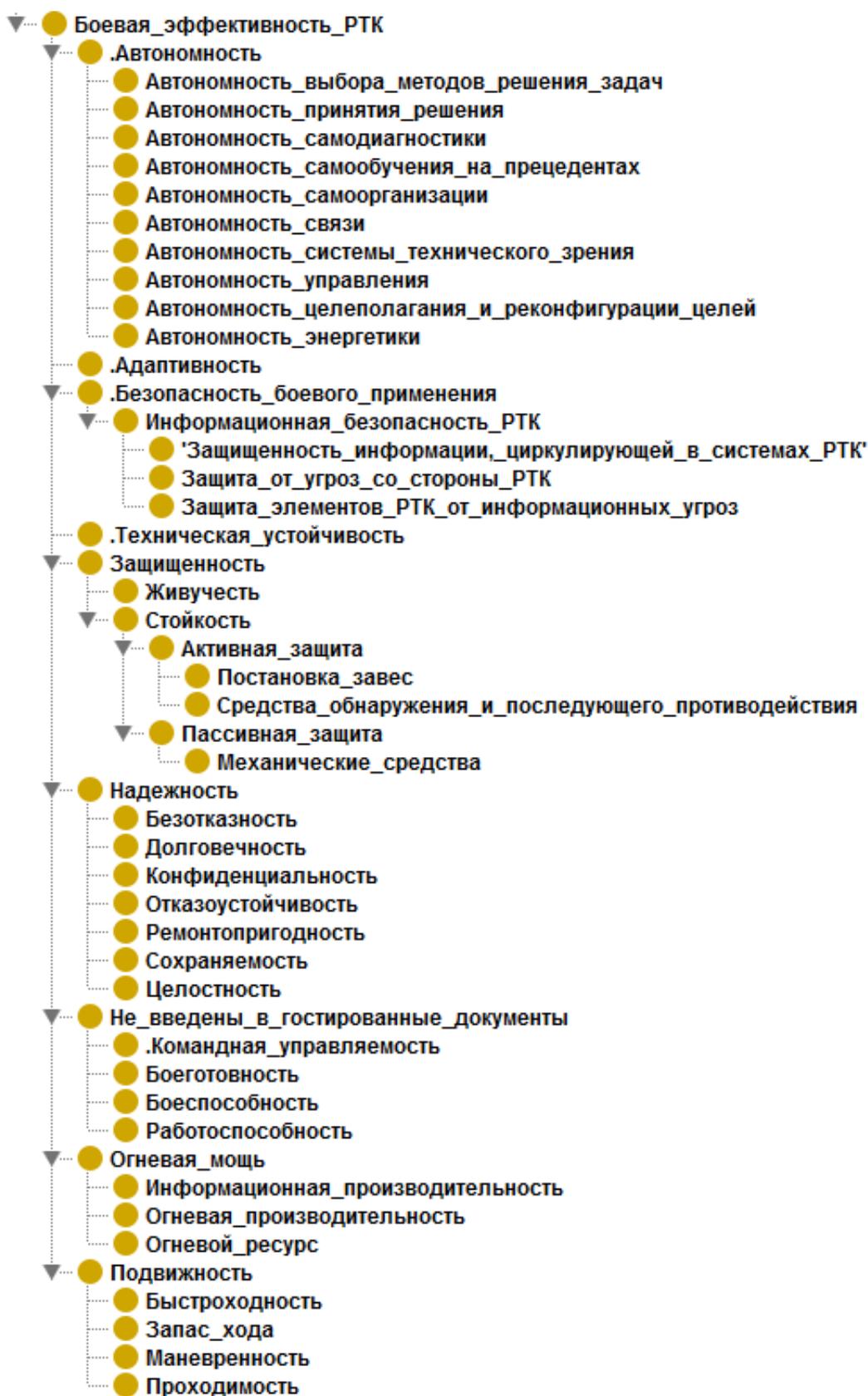


Рисунок 1 – Структура онтологии предметной области «Боевые свойства перспективного вооружения (робототехнические комплексы)»

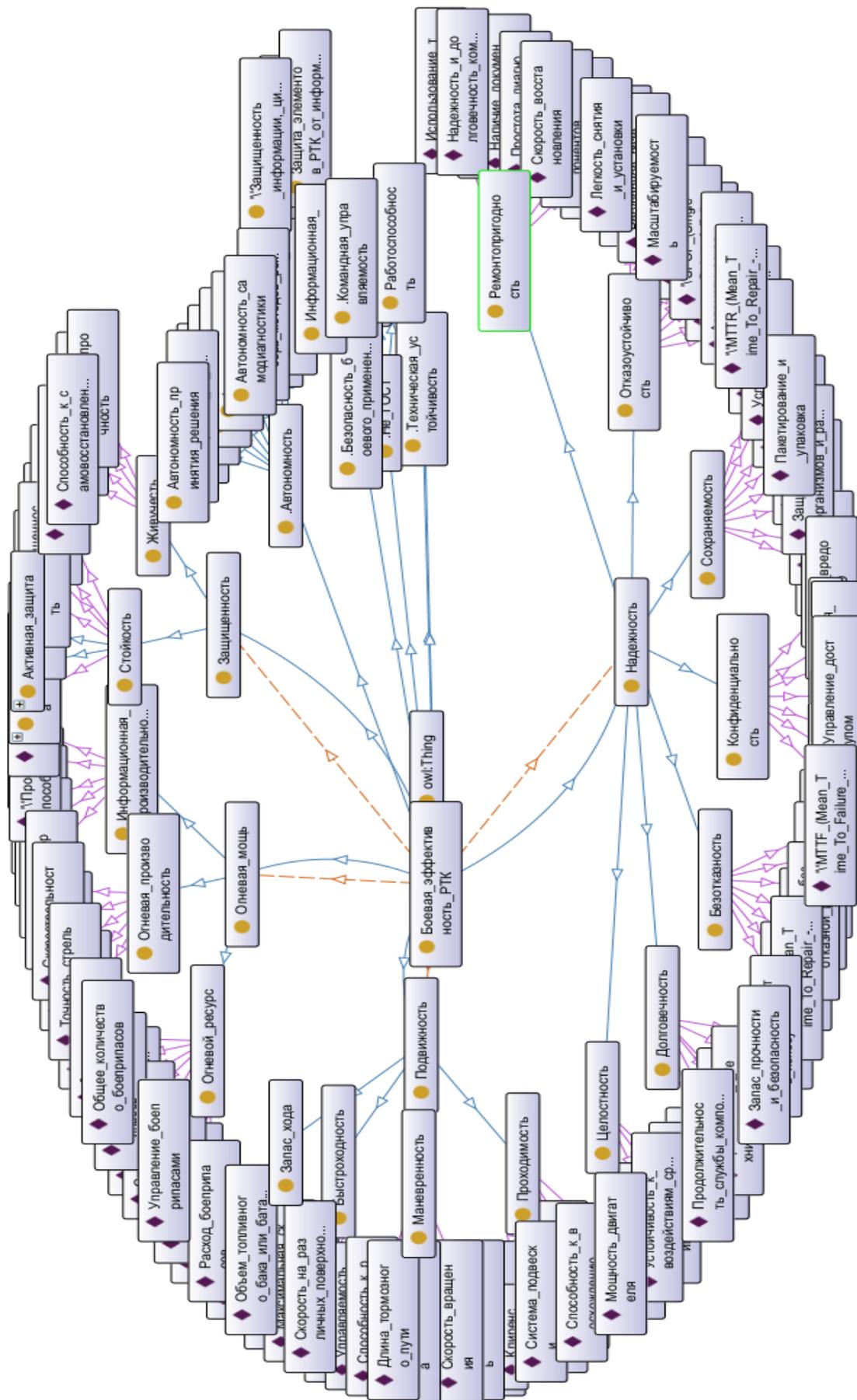


Рисунок 2 – Граф онтологии предметной области «Боевые свойства перспективного вооружения (робототехнические комплексы)»

В свою очередь, маневренность также имеет характерные атрибуты: скорость, инерционность, поворотливость, глубина и скорость погружения и др.

На рисунке 1 представлена онтология ПрО «Боевые свойства перспективного вооружения (робототехнические комплексы)» с детализацией до подклассов, выполненной средствами программного комплекса Protégé.

На рисунке 2 отражено визуальное представление онтологии боевых свойств перспективного вооружения для пяти его основных видов. Несмотря на то, что указанная онтология не является онтологией высшего уровня<sup>3</sup>, ее разработка осуществлена с использованием основных требований к таким методическим построениям. При этом, во-первых, она достаточно полна, чтобы отражать весь минимальный набор ключевых сущностей для основных видов боевых свойств перспективных образцов вооружения, во-вторых, она логически связывает основные понятия. Кроме того, онтология имеет самостоятельное значение, характеризует взаимозависимость сущностей и допускает объективные будущие расширения.

### 3. Извлечение новых знаний

Рассмотрим вопросы применения разработанной выше онтологии.

Онтология боевых свойств является постоянно пополняемым словарем терминов боевых свойств. В настоящий момент в разработанную онтологию введено 8 классов боевых свойств, 35 подклассов и 13 предикатов отношений боевых свойств пяти групп перспективного вооружения. Уже сейчас ясно, что такой словарь должен быть пополняемым. Все инструментальные и семантические возможности для этого в разработанной онтологической модели реализованы.

Онтологию боевых свойств необходимо рассматривать как элемент, взаимосвязанный с другими онтологиями. Она имеет статус прикладной. Понятно, что она должна быть взаимосвязана с другими смежными онтологиями для того, чтобы организовать необходимые семантически обоснованные взаимодействия. К числу основных отнесем онтологию задач многосферных операций с введением классов процессов, онтологию сценариев боевых действий с введением классов боевых действий, прецедентов боевых операций и последствий таких действий, онтологию испытаний образцов ВВСТ с соответствующими боевыми свойствами с введением классов объектов и др.

Онтологии служат для систем организации знаний и применяются в тех областях, где существуют скрытые взаимосвязи между элементами (например, рекомендательные и экспертные системы). Определяющим преимуществом онтологий является возможность получения новой информации в результате использования логического вывода на основе хранимых данных. Такие операции на графах позволяют автоматически из онтологии извлекать факты. Для вывода новых фактов и знаний на основе логических правил существует модуль логического вывода (ризонер – reasoning-англ.), который на вход получает граф с логическими аксиомами и выводит новые триплеты. Его основное предназначение – создание новых взаимосвязей и классификация сущностей. Ризонер способен создавать новые дуги между узлами или выводить новые атрибуты.

Онтология боевых свойств также является способом выявления нечетких отношений и анализа взаимосвязей в процессе формирования требований к перспективным образцам вооружений. В настоящий момент такие взаимосвязи существуют, но неявно. Определенные действия с онтологией позволяют выявить и зафиксировать существующие противоречия в задании требований к боевым свойствам. На момент подготовки настоящей публикации создать необходимый Ризонер для анализа и получения знаний о боевых свойствах не удалось, так как работа по формулировке логических аксиом в сфере анализа боевых свойств требует продолжительной и кропотливой работы специалистов различных областей. Вместе с тем ниже приведен небольшой пример соответствующих процессов.

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021... Указ. соч.

#### 4. Получение новых знаний на основе синтезированной онтологической модели БПЛА мини-класса

В качестве примера выберем американский БПЛА мини-класса FLIR Black Hornet PRS <sup>4</sup>. Это небольшой беспилотный вертолет (рисунок 3) разработки компании Flir Systems для обеспечения военнослужащих ситуационной осведомленностью с получением изображений и видеоинформации в тактической ближней зоне.

Анализируемый БПЛА имеет следующие особенности, которые можно выявить из маркетинговых материалов: малозаметный дизайн, бесшумность, небольшой вес (33 г), модульная конструкция, возможность эксплуатации в дождливую погоду, полет в зоне без GPS покрытия, высокую ветроустойчивость (до 10 м/сек). БПЛА имеет на борту ряд оптических и инфракрасных сенсоров с 360-градусным покрытием, встроенную гибридную тепловизионную камеру, зашифрованную цифровую линию передачи данных. БПЛА обладает следующими максимальными ТТХ: скорость полёта около 20 км/ч, продолжительность полёта 25 мин, удаление на расстояние до 2 км [10].

В данном варианте мы уже имеем образец ВВСТ с заданными ТТХ. Задача заключается в построении онтологической модели его боевых свойств и выявлении новых знаний о его боевом применении против российских вооруженных сил.

Для решения таких задач используем разработанную онтологию боевых свойств перспективного вооружения и многоагентный подход для поиска необходимых знаний.

Создадим на основе разработанной и представленной выше ПрО «Боевые свойства перспективного вооружения» онтологическую модель FLIR Black Hornet (рисунок 4).

Как следует из крайне ограниченного описания его ТТХ, он обладает определенными эксплуатационными характеристиками – показателями скорости, продолжительности полета, и максимальной удаленности от оператора, которым управляется. Указанные значения относятся к сущностям «Автономность управления», «Маневренность» и «Дальность». Кроме этой информации по объекту ничего неизвестно.



Рисунок 3 – Беспилотный вертолет разработки компании FLIR Black Hornet PRS

<sup>4</sup> FLIR Black Hornet PRS: персональная разведывательная система // Дрономания. <https://dronomania.ru/professionalnye/flir-black-hornet-prs.html>; см. также [10].



К онтологической модели FLIR Black Hornet, построенной на основе онтологии «Боевых свойств», можно задать, например, следующие практически важные для боевых действий вопросы:

Можно ли перехватить управление БПЛА FLIR Black Hornet?

Способен ли FLIR Black Hornet обнаружить замаскированную позицию на удалении от противника свыше 5 км?

Визуально обнаружен FLIR Black Hornet, пролетевший в сумерках на высоте 10 м по азимуту 270 град. Зафиксировал ли мини-БПЛА скопление нашей техники?

Способны ли средства РЭБ подавить FLIR Black Hornet?

Что будет, если уничтожить оператора FLIR Black Hornet?

Приведем алгоритмы ответов на первые два вопроса. Такие алгоритмы строятся в процессе взаимодействия агентов в формате (запрос-ответ), по существу, путем прохождения по «дереву принятия решений».

Алгоритм получения нового знания по вопросу перехвата управления.

Запрос: автономность управления? Задействуется предикат: «*включает*» оператора. Ответ: Полуавтономное.

Запрос: квалификация? Задействуется триплет: «*Полуавтономное управление требует действий квалифицированного оператора*». Задействуется предикат «*обладает*». Переход к атрибуту «Квалификация». Ответ: Квалифицированный.

Запрос: работает РЭБ? Ответ: Да.

Запрос: канал зашифрован? Ответ: Да.

Запрос: РЭБ эффективна? Задействуется триплет: «*Если канал зашифрован, то РЭБ неэффективна*». Ответ: Нет.

Запрос: можно ли перехватить управление БПЛА FLIR Black Hornet? Задействуется правило: «*Если канал зашифрован, то перехватить управление невозможно*». Ответ: перехватить управление невозможно, так как канал зашифрован, управляет квалифицированный оператор, РЭБ неэффективна.

Алгоритм получения нового знания по вопросу: «Способен ли FLIR Black Hornet обнаружить замаскированную позицию на удалении от противника свыше 5 км?»

Запрос: Подвижность? Задействуется предикат: «*определяется атрибутом*». Ответ: Дальность.

Запрос «Введите значение». Задействуется предикат: «*имеет значение*». Ответ: Введено значение «5 км».

Запрос: Способен ли FLIR Black Hornet обнаружить замаскированную позицию на удалении от противника свыше 5 км? Задействуется триплет: «*максимальное удаление на расстояние до 2 км*». Ответ: FLIR Black Hornet не способен обнаружить замаскированную позицию на удалении от противника свыше 5 км, так как по характеристикам объекта максимальное удаление от оператора на расстояние до 2 км».

## Заключение

Активное развитие современных информационных технологий и придание интеллектуальности различным системам ВВСТ требует введения новых, пока даже не всегда осознанных и исследованных боевых свойств перспективных образцов ВВСТ. В силу множества противоречивых мнений особенно сложны и чувствительны процессы задания тактико-технических характеристик для образцов ВВСТ, по сути обеспечивающие боевые свойства.

Для формализации описания боевых свойств и тактико-технических характеристик образца ВВСТ, а также их атрибутов, в работе предложено использовать современный методический аппарат – онтологию ПрО. Средствами программного комплекса Protégé построена онтология боевых свойств перспективных образцов ВВСТ, включая робототехнические средства наземного базирования, беспилотные летательные аппараты различных классов, комплексы направленного действия, безэкипажные корабли и автономные необитаемые подводные аппараты.

Показано, что в силу установленных связей и зависимостей боевых свойств, а также связанных с ними знаний и аксиоматических правил реализуется возможность получения новых знаний об объектах, обладающих соответствующими боевыми свойствами.

Новизна предлагаемого подхода связана с учетом неполноты знаний и неопределенностей об условиях применения перспективных образцов ВВСТ и характере решаемых задач. Эту информацию необходимо включить в модель предметной области ВВСТ.

Исследования, проведенные в данном направлении, показали высокий научно-технический потенциал использования предметно-ориентированных онтологий для решения задач оборонного значения. Так, в следующих статьях этого цикла будет представлен новый методический аппарат формирования обликов образцов перспективного вооружения с использованием онтологий Про «Боевые свойства», «Перспективные военно-технические задачи» и методов генеративного искусственного интеллекта.

#### Список источников

1. Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2015. №5. С. 102-121.
2. Орлов С.П., Сусарев С.В. Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств // Онтология проектирования. 2023. Т.13. №3(49). С.424-436.
3. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И. Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования. 2017. Т.7. №1(23). С. 66-76.
4. Асанов А.З., Мышкина И.Ю., Грудцына Л.Ю. Применение графовых моделей в проектном управлении // Онтология проектирования. 2023. Т.13. №2(48). С.232-242.
5. Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М. Онтологический подход к проектированию научно-производственных систем // Онтология проектирования. 2022. Т.12. №1(43). С.57-67.
6. Бонин А.С., Фомин М.В. Основные принципы и методический подход к обоснованию уровневых значений показателей боевых свойств перспективных авиационных комплексов военного назначения // Военная Мысль. 2009. №1. С. 52-59.
7. Коршиков Д.Н., Лахин О.И., Носкова А.И., Юрыгина Ю.С. Методы представления знаний для решения задач моделирования // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2015. №5. С. 425-428.
8. Абросимов В.К., Гладкий А.В. Интеллектуальность боевых свойств перспективных робототехнических комплексов наземного базирования // Известия РАРАН. 2024. №1(131). С. 109-115.
9. Абросимов В.К. Коллективы интеллектуальных летательных аппаратов. М.: Наука, 2017. 304 с.
10. Ананьев А. Д. Миниатюрный разведывательный БПЛА Black Hornet // Актуальные исследования. 2021. №23(50). С. 17-19.

#### Информация об авторах

В.К. Абросимов – доктор технических наук, старший научный сотрудник.

Научная статья  
УДК 519.8

## Исследование влияния систем наблюдения за боевыми единицами противника на исход боевой операции

Василий Юрьевич Чуев, Ирина Валерьевна Дубограй, Евгений Борисович Маркелов

*Аннотация.* На основе метода динамики средних разработана модель двухсторонних боевых действий, позволяющая учесть задержку информации о состоянии боевых единиц противника (поражены или нет). Построен численный алгоритм, позволяющий исследовать ход боя и его основные показатели. Установлено, что задержка этой информации может существенно влиять на исход сражения в бою близких по силам группировок.

*Ключевые слова:* модель двухсторонних боевых действий; боевая единица; эффективная скорострельность; параметр соотношения сил

*Для цитирования:* Чуев В.Ю., Дубограй И.В., Маркелов Е.Б. Исследование влияния систем наблюдения за боевыми единицами противника на исход боевой операции // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 29-32.

Original article

## Study of the Enemy Combat Asset Surveillance System Impact on the Combat Operation Outcome

Vasilij Yu. Chuev, Irina V. Dubograj, Evgenij B. Markelov

*Abstract.* Based on the method of dynamics of averages, a model of two-way combat operations has been developed that makes it possible to take into account the information delay about the enemy combat assets state (hit or not). It is constructed a numerical algorithm that allows to study the course of action and its main indicators. It has been established that the delay of this information can significantly impact on the battle outcome of close in force groups.

*Keywords:* model of two-way combat operations; combat assets; effective rate of fire; force ratio parameter

*For citation:* Chuev V.Yu., Dubograj I.V., Markelov E.B. Study of the Enemy Combat Asset Surveillance System Impact on the Combat Operation Outcome // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 29-32.

### Введение

Для оценки работоспособности проектируемой технической системы возникает, как правило, необходимость в разработке математической модели её функционирования для оценки качества её работы [1]. Важной частью оценки работы создаваемых систем вооружения и военной техники являются показатели их боевой эффективности, так как они в конечном итоге определяют степень приспособленности данного образца к решению конкретных боевых задач [2-4]. В качестве основы такой оценки необходимо использовать модель двухсторонних боевых действий, так как она позволяет учесть большее количество факторов, влияющих на эффективность действий в реальных боевых условиях, чем модель без учёта ответного огня [5].

Хорошо известным способом описания процесса двухсторонних боевых действий многочисленных группировок является метод динамики средних (уравнения Ланчестера 1 и 2 рода) [6; 7]. Построение моделей этого типа основано на следующем допущении. Согласно закону больших чисел в каждый момент боя количества сохранившихся боевых единиц сторон близки к своим средним численностям (математическим ожиданиям). Это позволяет не исследовать подробности, связанные со случайными состояниями участвующих в бою единиц, и рассматривать бой как детерминированный процесс<sup>1</sup>. При этом допущении все показатели боя не будут случайными величинами и могут быть заменены своими математическими ожиданиями.

<sup>1</sup> Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы и методология: учеб. пособие. М.: УРСС, 2006. 432 с.

Последовательность выстрелов, производимых каждой участвующей в бою единицей, представляется в виде пуассоновского потока событий<sup>2</sup>. Осуществляется переход к потоку успешных выстрелов, который тоже полагается пуассоновским. Выстрел назовём успешным, если он поражает единицу противника [2].

### Описание процесса боевых действий

Рассмотрим бой двух группировок  $X$  и  $Y$ . Сторона  $X$  имеет в начале боя  $x_0$  однотипных боевых единиц. Сторона  $Y$  имеет в начале боя  $y_0$  также однотипных боевых единиц, не обязательно однородных с единицами стороны  $X$ . Полагаем, что каждая боевая единица стороны  $X$  может стрелять по любой единице противника, и наоборот, и что одним выстрелом нельзя уничтожить более одной боевой единицы противника. Считаем, что противоборствующие стороны начинают боевые действия одновременно и боевая мощь каждой стороны в каждый момент времени боя пропорциональна среднему значению её сохранившихся боевых единиц (математическому ожиданию).

Введём следующие обозначения:  $p_x, p_y$  – вероятности поражения боевой единицы противника одним выстрелом единицы сторон  $X$  и  $Y$  соответственно,  $\lambda_x, \lambda_y$  – практические скорострельности боевых единиц сторон  $X$  и  $Y$  соответственно, величины  $v = p_x \lambda_x$  и  $u = p_y \lambda_y$  назовём эффективными скорострельностями боевых единиц сторон и будем считать их в течение всего боя постоянными.

В литературе подробно описан «высокоорганизованный» бой (обозначим его как (\*)), то есть когда боевые единицы сторон имеют полную и не запаздывающую информацию о состоянии единиц противника (поражены или нет) и ведут огонь только по сохранившимся единицам противостоящей стороны, а также «плохо организованный» бой (\*\*), то есть когда обе противоборствующие стороны не имеют такой информации и ведут равномерный огонь как по уцелевшим, так и по уничтоженным единицам противника [2-3; 8].

Во многих боевых ситуациях информация о состоянии боевых единиц противника поступает с опозданием, поэтому часть выстрелов обе противоборствующие стороны производят по уже уничтоженным единицам противника. Тогда протекание боя описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} x' = -(1 - k_y)uy - k_y \frac{uxy}{x_0} \\ y' = -(1 - k_x)vx - k_x \frac{vxy}{y_0} \end{cases} \text{ с начальными условиями } \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0, \end{cases}$$

где  $x, y$  – математические ожидания численностей сторон  $X, Y$  в момент времени  $t$ ,  $x', y'$  – их производные по времени,  $k_x, k_y$  – коэффициенты, показывающие относительные количества выстрелов, производимых по уже поражённым единицам противника сторонами  $X$  и  $Y$  соответственно ( $0 \leq k_x \leq 1$ ;  $0 \leq k_y \leq 1$ ),  $\varepsilon = \frac{y_0}{x_0} \sqrt{\frac{u}{v}}$  назовём параметром соотношения сил.

### Анализ результатов расчётов

Авторами разработан численный алгоритм, позволяющий исследовать ход протекания боя и вычислить его основные показатели. К ним, в первую очередь, относятся математические ожидания  $m_x, m_y$  относительных количеств сохранившихся боевых единиц сторон к моменту окончания боя.

$m_x = \frac{x_k}{x_0}, m_y = \frac{y_k}{y_0}$ , где  $x_k$  и  $y_k$  – математические ожидания сохранившихся к концу боя единиц сторон  $X$  и  $Y$  соответственно.

Полагаем, что бой ведётся до полного уничтожения хотя бы одной из противоборствующих сторон.

<sup>2</sup> Вентцель Е.С. Исследование операций... Указ. соч.

Результаты расчётов представлены на рисунках 1 и 2. На них отражены значения величин  $m_x$  и  $m_y$ . На рисунке 1 показаны значения этих величин для модели (\*) (синие линии), для модели (\*\*) (зелёные) и для представленной в настоящей статье модели при  $k_x = k_y = 0,25$  (красные). Отметим, что для этих моделей значение  $\varpi=1^3$  является условием равенства сил, то есть к окончанию боя обе противоборствующие стороны будут полностью уничтожены. При  $\varpi < 1$  победу одержит сторона X, при  $\varpi > 1$  – сторона Y. При этом преимущество победившей стороны наибольшее для модели (\*), наименьшее – для модели (\*\*).

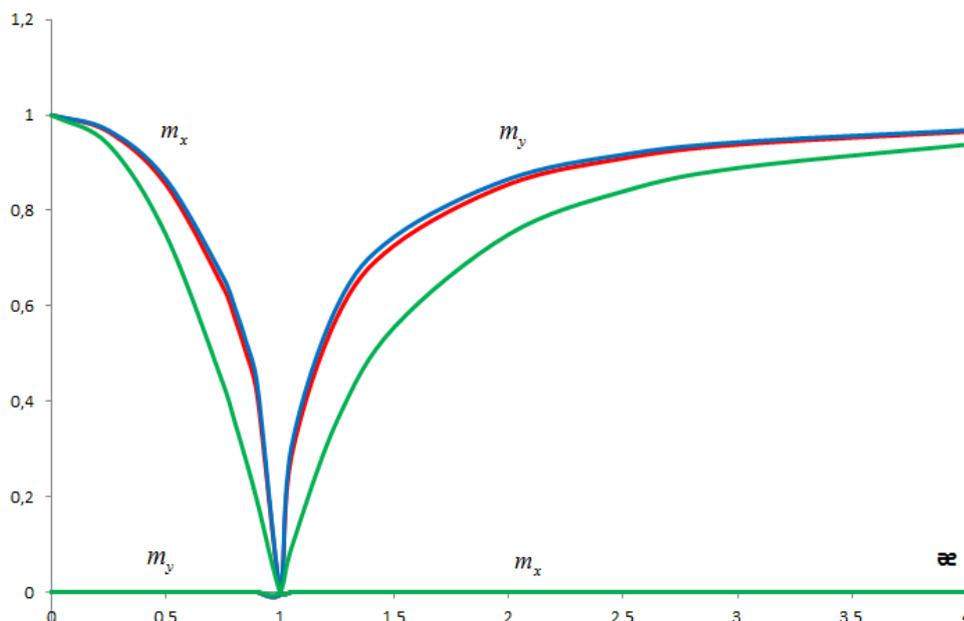


Рисунок 1 – Значения  $m_x$  и  $m_y$  при использовании различных моделей двухсторонних боевых действий

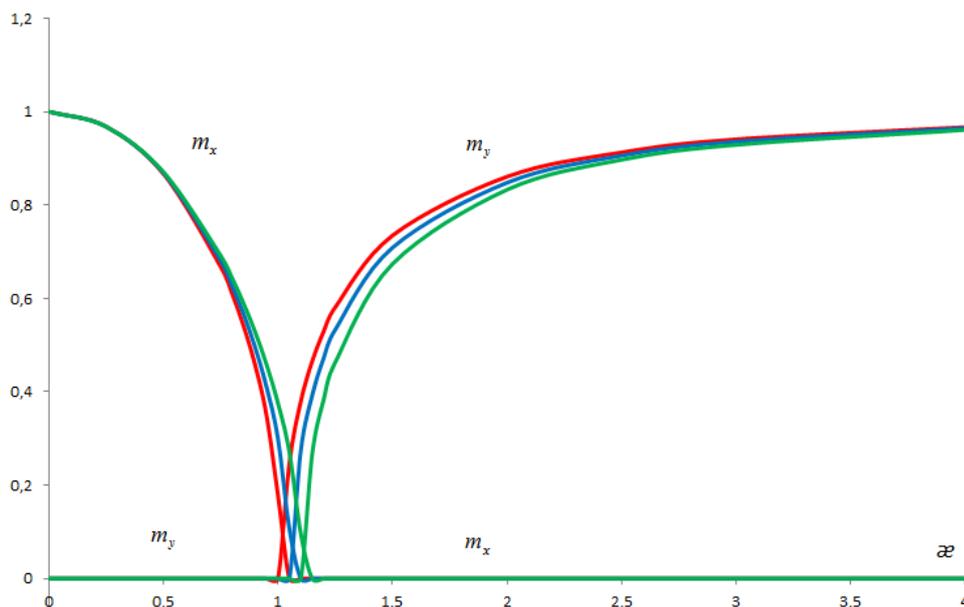


Рисунок 2 – Влияние коэффициентов  $k_x$  и  $k_y$  на значения  $m_x$  и  $m_y$

<sup>3</sup> Чуев В.Ю., Дубоград И.В. Модели динамики средних двусторонних боевых действий многочисленных группировок. LAP LAMBERT Academie Publishing, 2014. 72 с.

На рисунке 2 показано влияние коэффициентов  $k_x$  и  $k_y$  на исход боевой операции. При этом полагаем  $k_x = 0$  (то есть сторона  $X$  ведёт огонь только по уцелевшим боевым единицам противника), а значения  $k_y$  варьируются от 0,1 до 0,5. Отметим, что эти коэффициенты могут оказать значительное влияние на исход боевой операции.

Рассмотрим следующий бой. Допустим, что  $x_0 = 1000$ ,  $y_0 = 1050$ ,  $v = u = 0,01$  (при этом  $\alpha = 1,05$ ). При использовании модели (\*) получаем  $x_k = 0$ ,  $y_k = 305$ . Для модели (\*\*)  $x_k = 0$ ,  $y_k = 93$ . Для представленной в настоящей статье модели при  $k_x = 0,1$ ;  $k_y = 0,3$  получаем  $x_k = 0$ ,  $y_k = 137$ , а при  $k_x = 0,1$ ;  $k_y = 0,4$   $x_k = 132$ ,  $y_k = 0$ .

## Выводы

1. На основе метода динамики средних разработана модель двухсторонних боевых действий, учитывающая запаздывание информации о состоянии боевых единиц противника (поражены или нет). Разработан численный алгоритм, позволяющий вычислить основные показатели боя.

2. Показано, что более сильная группировка имеет более значительное преимущество при «высокоорганизованном» бое, а наименьшее преимущество при «плохо организованном» бое.

3. Установлено, что более своевременная информация о состоянии боевых единиц противника может существенно повлиять на ход боя и его исход.

## Список источников

1. Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Особенности математического моделирования технических устройств // Математическое моделирование и численные методы. 2014. №1(1). С. 5-17.
2. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. М.: Воениздат, 1970. 256 с.
3. Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. 8th ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2005. 1061 p.
4. Jaiswal N. K. Military Operations Research: Quantitative Decision Making. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers, 1997. 388 p.
5. Ткаченко П.Н. Математические модели боевых действий. М.: Советское радио, 1969. 240 с.
6. Lanchester F.W. Aircraft in Warfare: The Dawn of the Fourth Arm. L.: Constable and Co, 1916. 224 p.
7. Chen X, Jing Y, Li C, Li M. Warfare Command Stratagem Analysis for Winning Based on Lanchester Attrition Models // Journal of Science and Systems Engineering. 2012. Vol.21. P. 94-105.
8. Чуев В.Ю., Дубограй И.В. Модели двусторонних боевых действий многочисленных группировок // Математическое моделирование и численные методы. 2016. №1(9). С. 89-104.

## Информация об авторах

В.Ю. Чуев – кандидат технических наук, доцент;  
Е.Б. Маркелов – кандидат технических наук.

Научная статья  
УДК 681.5.015.23

## Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности

**Александр Станиславович Бондарчук, Владимир Георгиевич Зарубский**

*Аннотация.* В статье представлено решение задачи выбора оптимального состава элементов системы охраны объектов особой важности на основании метода машинного эксперимента, в котором количественная оценка альтернативных вариантов осуществляется посредством теории эффективности. Формирование рациональной структуры и параметров системы охраны объектов осуществлено на основании принципа оптимальности. Также в статье представлен алгоритм построения матриц отношений сходства и включения, позволяющий осуществить сопоставительный анализ эффективности существующих систем охраны по типовым боевым ситуациям нарушителей и сил охраны и обороны объекта охраны.

*Ключевые слова:* система охраны; принцип оптимальности; теория эффективности; военно-экономическая оценка; теоретико-игровая модель

*Для цитирования:* Бондарчук А.С., Зарубский В.П. Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 33-39.

Original article

## Principles of a Rational Structure and Parameters Generation of Special Importance Sites Security System

**Aleksandr S. Bondarchuk, Vladimir G. Zarubskij**

*Abstract.* The article presents an optimal composition choice problem solution of the security system components of special importance sites. It is based on the method of machine experiment, in which a quantitative assessment of alternative options is carried out through the efficiency theory. The rational structure and parameters generation of the sites security system is carried out on the basis of the optimality principle. The article also presents an matrices construction algorithm of similarity and inclusion relationships that allows to analyze comparatively the existing security systems effectiveness in typical combat situations of violators and security and defense forces of the site security.

*Keywords:* security system; optimality principle; efficiency theory; military-economic assessment; game-theoretic model

*For citation:* Bondarchuk A.S., Zarubskiy V.G. Principles of a Rational Structure and Parameters Generation of Special Importance Sites Security System // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 33-39.

Система охраны любого объекта особой важности (повышенной опасности) является сложной военно-технической системой, функционирование которой по содержанию представляет собой согласованное применение сил и средств, взаимосвязанных по целям, задачам, месту и времени действий. Ее эффективность зависит от свойств окружающей среды и характеристик элементов, входящих в состав данной системы, с учетом свойств нарушителей [1].

Характерными особенностями этой системы, как сложной системы, являются: наличие большого числа взаимосвязанных элементов; наличие сложной целенаправленной функции системы, обусловленной многообразием задач; возможность разделения системы на самостоятельные подсистемы, задачи которых подчинены общей цели функционирования всей системы; наличие управления с иерархической структурой; воздействие случайных факторов обстановки на процесс функционирования системы; наличие черт самоорганизации при взаимодействии с внешней средой.

Значение вероятности сохранения охраняемого объекта  $P_{сохр00}$ , являющейся показателем функциональной эффективности системы охраны, зависит от многих действующих в реальной боевой обстановке факторов: степени совершенства отдельных составляющих системы

охраны, способа их установки, типа охраняемого объекта, тактики действий нарушителей, их количества, состава и т.д. Следовательно, задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (задача совершенствования системы охраны) ставится как задача оптимального синтеза системы с управлением. При этом заданной системе охраны и множеству внешних воздействий требуется построить подсистему охраны, обеспечивающую заданное поведение системы охраны и удовлетворяющую критериям качества функционирования.

Для сложных систем, к которым относится система охраны объектов, применение классического экспериментального метода исследования путем проведения натурных экспериментов становится практически невозможным. Поэтому в качестве основного метода исследования систем охраны применяется метод машинного эксперимента, основанный на использовании системного анализа, в котором выделяется теория эффективности как основа для количественной оценки альтернативных систем.

С позиций системного подхода в системе охраны, как организационно-технической системе, выделяются элементный состав и структура.

Применительно к теории эффективности систему охраны можно рассматривать как техническую систему, состоящую из различных звеньев (элементов), объединенных общим целевым назначением. При этом система функционирует в определенной среде, расходует ресурсы, обладает топологией и совокупностью параметров, характеризующих звенья системы. Способы соединения (взаимодействия) звеньев характеризуют структуру системы. Технические средства обнаружения, инженерные средства охраны и силы охраны являются взаимодействующими элементами системы охраны.

Структура функционирования системы отражает связи элементов организационной структуры при выполнении системой своих функциональных задач. Варьируя элементным составом и способами выполнения этих задач, можно сформулировать множество вариантов функционирования системы. Вместе с тем имеются такие типовые структуры функционирования, которые лежат в основе любого варианта системы. Эти варианты имеют существенное значение для разработки математического аппарата формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (оценки альтернативных систем).

Формирование рациональной структуры и параметров системы охраны объектов можно осуществить выбором из множества возможных вариантов элементного состава и структуры существующей и новых поколений системы совокупности лучших (оптимальных) вариантов на основе принципа оптимальности.

Лучшие (оптимальные) альтернативы элементного состава и структуры системы выбираются из представленного к выбору исходного множества альтернатив.

Выбор из исходного множества альтернатив совокупности оптимальных альтернатив в соответствии с принципом оптимальности основывается на парном их сравнении в смысле предпочтительности по критериям эффективности и стоимости. В условиях рассматриваемой задачи выбором основным требованием к процедуре выбора является обеспечение равных условий бинарного сравнения альтернатив и точности сравнительной их оценки. Критерий эффективности в этом случае является мерой достижения системой своей цели по предназначению и создает условия для сравнительной оценки альтернатив. Критерий стоимости указывает, какую долю составляет стоимость оцениваемой альтернативы от стоимости альтернативы, функция стоимости которой на множестве, представленном к выбору, принимает максимальное значение.

В теории выбора и принятия решений по признаку управляемых факторов выделяют два класса задач формирования исходного множества альтернатив<sup>1</sup>.

К первому классу относятся задачи, в которых управляемыми факторами являются параметры системы. Исходное множество альтернатив в этом случае формируется целевой функцией, а границы исходного множества альтернатив определяются ограничениями, накладываемыми на целевую функцию.

---

<sup>1</sup> Астахов А.Д. Методика военно-экономического обоснования принимаемых решений: учеб. пособие. М.: ВИА, 2005. 55 с.

Ко второму классу относятся задачи, в которых управляющими факторами являются совокупности элементного состава, организационная структура, структура функционирования и развития системы. Исходное множество альтернатив в этом случае формируется на основе опыта и здравого смысла. Здесь организационная структура отражает размещение элементного состава в подсистемах организационной структуры и связи между этими подсистемами. Основой организационной структуры является структура системы охраны объектов. Свойства организационной структуры оцениваются параметрами элементов подсистем. Структура функционирования отражает связи элементов организационной структуры при выполнении системой своих функциональных задач. Следовательно, задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов относится ко второму классу.

В теории выбора и принятия решений задача выбора по признаку свойств принципа оптимальности разделяется на два класса.

К первому классу относят задачи, в которых принцип оптимальности очевиднее и не требует доказательств. В этих задачах критерием оптимальности служит целевая функция, управляющие факторы представляются параметрами целевой функции. К оптимальным относятся альтернативы, у которых целевая функция принимает одно из экстремальных значений. Целевая функция формирует исходное множество альтернатив и определяет его границы. Задача оптимизации решается методами линейного или нелинейного программирования.

Ко второму классу относят задачи, в которых принцип оптимальности не очевиден, требует доказательств. К этому классу относится и задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (оптимизации элементного состава и структуры системы охраны), что объясняется следующим.

Военно-экономическая оценка альтернатив системы проводится по критериям эффективности и стоимости. Оценка относится к классу многокритериальных. Исходное множество альтернатив формируется на основе опыта и здравого смысла. Управляющими факторами являются элементный состав и структура системы. Функция цели выполняет только роль операторной функции и не служит функцией критерия оптимальности. Принцип оптимальности в этом случае не очевиден, требует обоснования. Отсюда в данной методике задача оптимизации решается на основе парного (бинарного) сравнения альтернатив по отношениям предпочтений, характеризуемых критериями эффективности и стоимости. При этом принцип оптимальности определяется на основе аксиоматического подхода.

Сущность аксиоматического подхода состоит в следующем [1]. Свойства принципа оптимальности характеризуются совокупностью аксиом, которые не противоречат опыту и здравому смыслу. Указанные аксиомы определяют концепцию последовательности выбора оптимальных альтернатив из исходного множества альтернатив по критериям эффективности и стоимости.

Графически выбор множества оптимальных альтернатив  $X_{оп}$  из исходного множества альтернатив, представляемого к выбору, представлен на рисунке 1.

Решение задачи выбора оптимальных альтернатив должно производиться по типовым решаемым системами охраны задач для каждого варианта системы.

Вариант применения предлагаемого аксиоматического подхода к выбору оптимального варианта системы охраны на основе парного сравнения альтернатив по отношениям предпочтительности, характеризуемых критериями  $W_э$  эффективности и  $W_с$  стоимости, приведен в таблице 1.

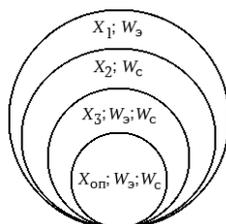


Рисунок 1 – Выбор множества  $X_{оп}$  альтернатив из представленного к выбору исходного множества альтернатив  $X$

Таблица 1 – Расчёт оптимального варианта системы на основе парного сравнения альтернатив

Этапы сравнения	Критерии	Варианты альтернатив			
		1	2	3	4
1	$W_3$	0,80	0,90	0,95	0,98
2	$W_c$	0,75	0,80	0,82	0,88
3	$W_3/W_c$	1,13	1,12	1,16	1,11
4	$(W_3/W_c) \max$			1,16 max	

На основании аксиоматического подхода [1] приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют, что в соответствии с аксиомой A1 условие  $W_{эx} \in (\max W_{эx}; 0,9 \max W_{эx})$  при  $\max W_{эx} = 1,0$  выполняется в вариантах альтернатив 2, 3, 4.

Условия аксиомы A2  $W_{cx} \in (\min W_{cx1}; 1,1 \min W_{cx1})$  при  $\min W_{cx1} = 0,75$  выполняется в вариантах альтернатив 1, 2, 3.

В вариантах альтернатив 2 и 3 на третьем этапе их сравнения выполняются совместные условия аксиом A1 и A2. В дальнейшем эти варианты используются для выбора оптимального варианта.

Условие аксиомы A3  $(W_{эx2}/W_{cx2}) \max$  выполняется в третьем варианте альтернатив, который в соответствии с разработанной методикой считается оптимальным.

Для реализации принципа оптимальности необходимо сформировать достаточно большое число возможных способов достижения цели, провести их анализ и выбрать наилучший по определенному критерию. Если же для выбора рассматривается ограниченное число вариантов, то наилучший из них обычно называют рациональным в отличие от строго оптимального. При этом необходимо учитывать, что существенное влияние на свойства системы оказывает ее структура: состав, построение и взаимосвязь ее элементов. Поэтому найденный оптимальный вариант элементного состава и структуры системы охраны кроме того должен быть исследован при изменении параметров элементов системы на основе оценки их влияния на свойства системы в целом или на степень достижения цели ее функционирования, так как, согласно принятым исходным условиям и допущениям, результаты оценки альтернатив системы по критериям эффективности и стоимости строго соответствуют только заданным значениям их параметров. При изменении значений параметров решение задачи должно уточняться с учетом того, что свойства системы количественно оцениваются частными критериями эффективности элементов системы охраны объекта.

Следует также отметить, что параметры внешней среды определяются на основе научного прогноза или экспериментальных оценок и обычно представляются в виде умеренно взвешенных, оптимистических или пессимистических их ожидаемых значений [2-4]. Задача военно-экономической оценки и оптимизации системы охраны объектов решается, прежде всего, для случая умеренно взвешенных значений параметров, а затем оценивается возможное отклонение критерия эффективности  $W_3$  для оптимистических и пессимистических значений.

Поэтому основной проблемой разработки систем охраны или их модернизации (с точки зрения повышения эффективности) является формирование (выбор) рациональных параметров (характеристик) элементов системы охраны, обеспечивающих качественное выполнение боевых задач.

Учитывая, что решение должно приниматься в условиях неопределенности тактики действия нарушителей и воздействия внешней среды в конфликтной ситуации, показатель эффективности системы зачастую трудно поддается прогнозированию. Следовательно, выбор оптимального параметра с использованием обычных методов оптимизации оказывается сложной проблемой.

Для применения в условиях конфликтной ситуации обычных методов необходимо задаться законом распределения их вероятностей. Однако для данных ситуаций характерно то, что отдать предпочтение какой-либо гипотезе не представляется возможным.

Поэтому в таких случаях наиболее приемлемым является теоретико-игровая методика обоснования решений, состоящая в построении игровой модели, являющейся формальной моделью конфликтов.

Оптимальным для теоретико-игровой модели является такой принцип, согласно которому сторона, принимающая решение, ориентируется на наиболее устойчивое распределение вероятностей исхода конфликта, т.е. на такое распределение, при котором средний (в смысле математического ожидания) выигрыш считается оптимальным, что обеспечивает устойчивость показателя эффективности системы независимо от способов действия «разумного» нарушителя или влияния внешней среды.

Таким принципом формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов является принцип определения так называемых «коэффициентов соизмеримости (сопоставимости)» путем эквивалентной замены рассматриваемой системы на альтернативную с учетом характеристик соответствующих подсистем<sup>2</sup>. При этом важно выявить частные критерии, позволяющие провести выбор рациональных характеристик подсистем и системы в целом [1; 7]. Следовательно, для проведения детальных исследований по выбору рациональных параметров составных частей системы важно показатели эффективности и стоимости свести к частным критериям оценки подсистем (составных частей системы).

Основываясь на такой методике, рассмотрим последовательность формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов на основе принципа сопоставления вариантов систем с учетом стратегий поведения нарушителей и внешней среды.

При сопоставлении моделей конфликтной ситуации будем считать, что боевая задача может быть решена набором возможных исходов, связанных с успешным выполнением задач системой охраны:

совокупность исходов, приводящих к обнаружению нарушителей;

совокупность исходов, приводящих к задержанию (поражению) нарушителей до их приближения к объекту.

Принцип сопоставления вариантов системы охраны предполагает сопоставительный анализ эффективности существующих систем охраны по типовым боевым ситуациям нарушителей и сил охраны и обороны объекта охраны.

Принцип сопоставления предполагает построение также матриц отношения сходства и включения. Вычисление меры сходства двух сравниваемых систем по качественным параметрам их элементов удобно производить на основе бинарной матрицы, которая в терминах теории множеств задается следующим образом [5]:

$$S = \{S_j | j \in J\}; S_j = \{x_{ij} \vee i \in I, j \in J\}; J = \{j \vee j - \text{целое число}, j = \overline{1,2}\}; \quad (1)$$

$$Z = \{Z_i | i \in I\}; Z_i = \{x_{ij} \vee i \in I, j \in J\}; I = \{i \vee i - \text{целое число}, 1 \leq i \leq p\}, \quad (2)$$

где  $S$  – индексированное множество с элементами  $S_j$ ;  $S_j$  –  $j$ -е описание объекта (вариант системы охраны);  $Z$  – индексированное множество с элементами  $Z_i$  (значения параметров элементов системы);  $Z_i$  –  $i$ -й параметр (значение параметра);  $x_{ij}$  – одно из двух значений 0,1  $i$ -го параметра у  $j$ -го объекта  $x_{ij} \in \{0,1\}$  ( $x_{ij} = 1$ , если  $i$ -й параметр есть у  $j$ -го объекта, в противном случае  $x_{ij} = 0$ );  $J$  и  $I$  – индексные множества.

Бинарная матрица для вычисления меры сходства между двумя объектами имеет следующий вид:

$$B = \left\| x_{ij} \right\|_{i=1,p}^{\overline{1,2}}. \quad (3)$$

<sup>2</sup> Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: учебник. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.; Анфилатов В.С., Емельянов А.Е., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.; *с м. также* [5; 6].

Вычисление меры сходства можно произвести по формуле Чекановского-Серенсена<sup>3</sup> с учетом бинарной матрицы по следующему выражению:

$$C(S_1, S_2) = \frac{2 \sum_{i=1}^p x_{i1} x_{i2}}{\sum_{i=1}^p x_{i1} + \sum_{i=1}^p x_{i2}}, \quad (4)$$

где  $C(S_1, S_2)$  – мера сходства;  $x_{i1}, x_{i2}$  – одно из двух значений 0,1.

Мера включения отражает различную степень включения одного объекта (вариант системы охраны) в другой и позволяет выявить, какой из двух сравниваемых объектов содержит больше специфических параметров, т.е. определить какой объект более оригинален, а какой – более типичен к базовому объекту (аналогу) среди множества анализируемых объектов.

В этих случаях целесообразно использование показателя вероятности сохранения объекта, т.е. «минимум ущерба», наносимого охраняемым объектам.

В соответствии с выражением (5) меры включения  $S_2$  во множество  $S_1$  и  $S_1$  в  $S_2$  определяются следующим образом:

$$B(S_1, S_2) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_1)}, B(S_2, S_1) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_2)}. \quad (5)$$

При этом количество элементов пересечения двух множеств  $m(S_1 \cap S_2)$  равно:  $m(S_1 \cap S_2) = \sum_{i=1}^p x_{i1} x_{i2}$ , где  $x_{i1}, x_{i2}$  – соответственно значения  $i$ -го элемента для множеств  $S_1$  и  $S_2$ .

Меры включения несимметричны, во включение  $j$ -го описания в самом себе стопроцентно, так как  $m(S_j \cap S_j) = m(S_j)$ . Для более полного анализа множеств исследуемых параметров составных частей вариантов систем охраны и их сочетаний рассчитываются меры сходства, различия и включения для всех пар объектов. Это позволит исключить, с одной стороны, дублирование параметров и, с другой стороны, выделить доминирующие варианты исследуемых объектов.

Алгоритм построения матриц отношений сходства и включений для исследуемых объектов может быть следующим:

1. Формируются два множества: множество исследуемых вариантов систем охраны (альтернатив) или их сочетания  $J = \{S_1, S_2, \dots, S_q\}$  и множество параметров составных частей системы охраны  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_p\}$ . Каждая система описывается подмножеством параметров  $\{Z_i\} \in Z$ , обеспечивающих качественное выполнение боевых задач. Параметрами могут являться частные и обобщенные характеристики поражающего действия, характеристики местности, тактические и технические требования к средствам обнаружения и к действиям нарушителей и сил охраны и т.д. Все параметры систематизируются в матрицу параметров (образов), где представляются индексированными множествами.

2. Генерируются все парные сочетания вариантов и для каждой пары описаний систем  $S_i$  и  $S_j$  строится индексная матрица  $B = \|x_{ij}\|$ ;  $i = \overline{1, p}, j = \overline{1, 2}$ , где  $p$  – число строк матрицы параметров, соответствующее числу рассматриваемых параметров  $m(Z)$ . При составлении матрицы  $[B]$  элементами  $x_{ij}$  должны быть приняты максимальные значения показателей эффективности из всей совокупности условий применения вариантов, что обеспечивает сокращение размеров матрицы, не искажая сути конфликтной ситуации. На основе индексной матрицы рассчитываются меры сходства  $C(S_1, S_2)$  или включения  $B(S_1, S_2)$ .

3. На основе рассчитанных на шаге 2 значений мер сходства или включения строятся соответствующие матрицы размерностью  $q \times q$ .

При этом следует отметить, что матрица мер сходства симметрична относительно главной диагонали, матрица мер включения таким свойством не обладает. При построении матрицы сходства индекс при первом множестве в мере сходства указывается номер строки матрицы, а при втором – номер столбца. При построении матрицы включения индекс при названии первого множества в скобках указывает номер столбца, а второго – номер строки матрицы включения.

<sup>3</sup> Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А. Теория выбора и принятий решений: учеб. пособие. М.: Наука, 1982. 328 с.; см. также [8-10].

4. Задается отношение сходства или включения в следующем виде:

$$\begin{aligned} \langle C_{\Delta}, J \rangle &= \{S_i, S_j \in J \vee C(S_i, S_j) \geq \Delta\}; \\ \langle B_{\Delta}, J \rangle &= \{S_i, S_j \in J \vee B(S_i, S_j) \geq \Delta\}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\Delta$  – произвольное число ( $0 \leq \Delta \leq 1,0$ );  $i, j \in J$ .

Для заданного значения  $\Delta$  строится матрица сходства  $[C_{\Delta}]$  или матрица включения  $[B_{\Delta}]$ , в которой все значения, большие или равные  $\Delta$ , заменяются единицами, а оставшиеся – нулями.

В действительности это соответствует требованию повышения эффективности системы охраны объектов, что неизбежно приводит к вытеснению менее эффективных систем (все значения матриц, меньшие  $\Delta$ ) и замене их более эффективными, хотя и дорогими (все значения матриц, большие или равные  $\Delta$ ).

Таким образом, тенденция к повышению эффективности системы охраны объектов при ограничении на ресурсы и стоимостные показатели потребует оптимизации параметров составных частей системы и их типажа при разработке. При этом методологической основой для определения рациональной структуры и параметров системы охраны применяется системный подход, а для решения технической основы используется широкая унификация технических решений системы (по схемным решениям, узлам, блокам, способам применения и др.).

#### Список источников

1. Бондарчук А.С. Система охраны и обороны важных государственных объектов и оценка эффективности ее функционирования: монография. Пермь: ПВИ ВВ МВД России, 2011. 190 с.
2. Здоровцов А.Г., Пушкарёв А.М. Оценка эффективности системы охраны периметров объектов и контроля за прилегающей территорией // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2022. №4(8). С. 43-45.
3. Гудков М.А., Герасименко Е.С., Калков Д.Ю., Бокадаров С.А. Анализ эффективности систем безопасности объектов охраны // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2020. №1. С. 62-67.
4. Лазарев И.В. Применение графовой модели для оценки эффективности комплекса технических средств систем охраны // Охрана, безопасность, связь. 2020. №5-2. С. 151-153.
5. Йех Т. Теория множества и метод форсинга. М.: Наука, 1973. 152 с.
6. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б. Прогнозирование в военном деле. М.: Воениздат, 1975. 279 с.
7. Пушкарёв А.М., Здоровцов А.Г. К вопросу оптимального синтеза систем физической защиты // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. №11. С. 62-66.
8. Шенон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
9. Ушаков И.А. Методы расчета эффективности на этапе проектирования. М.: Знание, 1983. 37 с.
10. Кендалл М. Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975. 216 с.

#### Информация об авторах

А.С. Бондарчук – кандидат технических наук, доцент;  
В.Г. Зарубский – кандидат технических наук.

Научная статья  
УДК 004.27:004.056.55

## Комбинированный подход к моделированию квантового алгоритма Дойча

Александр Сергеевич Горский

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию существующих и разработке нового комбинированного подходов к моделированию квантового алгоритма Дойча на классическом компьютере. Актуальность рассматриваемой тематики связана с разработкой комбинированного подхода, который в отличие от известных позволяет повысить вероятность получения правильного результата при различных сочетаниях входного двухкубитного регистра.

*Ключевые слова:* квантовый алгоритм Дойча; кубит; матричный оператор; квантовая схема; тензорное произведение; имитационная модель; пользовательская функция

*Для цитирования:* Горский А.С. Комбинированный подход к моделированию квантового алгоритма Дойча // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 40-48.

Original article

## A Combined Approach to the Deutsch Quantum Algorithm Modeling

Aleksandr S. Gorskiy

*Abstract.* The article is devoted to the study of existing and development of a new combined approach to the Deutsch quantum algorithm modeling on a classical computer. The relevance of the research under consideration is associated with a combined approach development that unlike the known ones makes it possible to increase the probability of the correct answer obtainment for various combinations of the input two-qubit register.

*Keywords:* quantum Deutsch algorithm; qubit; matrix operator; quantum circuit; tensor product; simulation model; custom function

*For citation:* Gorsky A.S. A Combined Approach to the Deutsch Quantum Algorithm Modeling // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 40-48.

## Введение

Бурное развитие технологии квантовых вычислений по всему миру в последнее время связано, прежде всего, с технологически непреодолимым барьером по миниатюризации электронной компонентной базы (ЭКБ), используемой в существующих электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). Вычислительная мощность современных компьютеров растет в соответствии с законом Мура, согласно которому каждые два года количество транзисторов на интегральной схеме увеличивается вдвое. Ввиду этого обстоятельства размеры транзисторов приблизились к размеру атома, из-за чего на их работе сказываются квантовые эффекты. Другой причиной, стимулирующей исследования в данной области, является вычислительный барьер по производительности классических компьютеров при решении полиномиально сложных задач. Неизбежно возникает противоречие между ростом объема вычислений и уменьшением размеров ЭКБ, которое заключается в том, что невозможно бесконечно повышать плотность элементов на кристалле процессора без увеличения массогабаритных размеров ЭВМ. Одним из возможных способов его разрешения является создание квантового компьютера.

Квантовые компьютеры – это устройства, которые используют для вычислений принципы квантовой механики. Для некоторых задач квантовые алгоритмы обеспечивают существенное ускорение по сравнению с их лучшим классическим аналогом. Проблемами создания квантового компьютера в настоящее время занимается большое количество ученых во всем мире, в том числе и в нашей стране. В июле 2019 года госкорпорацией «Росатом» совместно с другими заинтересованными организациями была разработана «Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления», в рамках которой

к 2024 году запланировано создание отечественного квантового компьютера с объемом входного регистра до 100 кубитов<sup>1</sup>.

Применение технологии квантовых вычислений предусмотрено соответствующими документами по развитию квантовых технологий в интересах силовых министерств и ведомств, в том числе и Минобороны России.

Несмотря на уже существующие коммерческие модели квантового компьютера, он по-прежнему остаётся труднодоступным для проведения исследований в силу высокой цены и требовательных эксплуатационных характеристик. Этим объясняется востребованность имитационных моделей, с помощью которых стало возможным на классических компьютерах разрабатывать, изучать и симулировать работу квантовых алгоритмов.

## 1. Теоретические аспекты технологии квантовых вычислений

Фундаментальным понятием в области квантовых вычислений и квантовой информации является квантовый бит или кубит. Классический бит может в любой момент находиться только в одном из булевых состояний – 0 или 1 с вероятностями либо  $P(0) = 1$ , либо  $P(1) = 1$ . Кубит в отличие от него находится в квантовой суперпозиции этих двух базисных состояний, которая описывается вектором в двумерном комплексном векторном (гильбертовом) пространстве. Вектор состояния кубита имеет две компоненты, которые являются его проекциями на базисы гильбертова пространства и представляют собой комплексные числа, и в обозначениях Дирака записывается в виде:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – комплексные числа (амплитуды вероятности), удовлетворяющие условию нормировки  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ ,  $|\alpha|^2$  и  $|\beta|^2$  являются вероятностями нахождения кубита в состояниях, описываемых вектор-столбцами  $|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$  и  $|1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$  соответственно.

Квантовый компьютер является многокубитовым вычислительным устройством, в котором система из нескольких кубитов образует квантовый регистр. В классическом компьютере в каждый момент регистр имеет четкую последовательность логических нулей и единиц. В квантовом компьютере регистр до измерения его состояния не является явно определенным и описывается линейной композицией с комплексными числами (суперпозицией)  $n$ -битовых состояний вида:

$$|\psi\rangle = y_1|0..0\rangle + y_2|0..1\rangle + \dots + y_n|1..1\rangle.$$

Вероятность нахождения квантового компьютера в состоянии  $|0..0\rangle$  равна  $|y_1|^2$ , в состоянии  $|0..1\rangle$  равна  $|y_2|^2$  и т. д. За счет такого необычного для булевой логики свойства квантовых вычислений, а именно состояния суперпозиции входного регистра кубитов, появляется возможность параллельных массивных вычислений. Поскольку один кубит представляется двумя состояниями, то два кубита – четырьмя состояниями одновременно. Например, если входной регистр состоит из двух кубитов  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , то в результате обрабатываются четыре состояния (операции)  $|00\rangle$ ,  $|01\rangle$ ,  $|10\rangle$  и  $|11\rangle$  за один шаг. Для  $n$  кубитов квантовый компьютер вычисляет  $2^n$  операций за один шаг, в то время как на классическом компьютере требуется  $2^n$  шагов.

Регистр из кубитов  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  вычисляется с помощью произведения Кронекера (тензорного произведения) двух вектор-столбцов:

$$|01\rangle = |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ 0 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

где  $\otimes$  – тензорное произведение.

<sup>1</sup> Паспорт «Дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые вычисления» на период до 2024 года» (утв. Минцифры России 31 июля 2020 г. №14).

Любая логическая операция с кубитами называется квантовым вентилем или гейтом. По числу кубитов преобразователи делятся на однокубитные и многокубитные. Преобразователь переводит одно состояние кубита (а в многокубитном случае – квантового регистра) в другое. Квантовым преобразованием называют унитарное преобразование вектора состояния квантовой системы, которое всегда обратимо. Для демонстрации действия квантового преобразователя на кубиты используют матричную запись соответствующих операторов. Матричная форма операторов, которые чаще всего используются в квантовых алгоритмах, подробно рассмотрена в работах [1-4].

Основой для моделирования квантовых вычислений являются три оператора, действующих на входной квантовый регистр: суперпозиции, квантовой корреляции (запутанного состояния) и интерференции. Преобразование Адамара может обеспечивать как суперпозицию классических состояний, так и интерференцию выходного вектора кубитов. К иницирующим запутанные состояния кубитов относятся оператор контролируемого отрицания (CNOT), а также сочетания унитарных операторов идентичности, отрицания и CNOT. В совокупности операторы суперпозиции, корреляции и интерференции формируют математическую модель квантового алгоритма в виде обобщенного матричного оператора, которая впоследствии может быть преобразована в программный код на классическом компьютере.

В отличие от унитарных преобразований операция измерения квантового регистра приводит к необратимому изменению его состояния – он коллапсирует из суперпозиции в одно из базисных состояний. Одно измерение кубита дает один бит информации о его состоянии. За счет суперпозиции базисных состояний до измерения в нем хранится масса скрытой информации. Объем этой скрытой информации экспоненциально растет с увеличением числа кубитов.

Главная проблема квантовых вычислений состоит в том, что после проведения вычислений получить всю скрытую информацию невозможно, так как в результате измерения получается одно значение из всего множества. Тем не менее при анализе полученного квантового регистра до его измерения можно получить информацию о некоторых его общих свойствах.

Одним из подходов для получения такой информации, демонстрирующим превосходство квантовых вычислений над классическими, является квантовый алгоритм Дойча. Существующие методы его моделирования на классическом компьютере были изучены в ходе анализа ряда научных трудов [3; 4].

На основе результатов проведенного анализа был разработан комбинированный подход к моделированию алгоритма Дойча, позволяющий использовать преимущества, нивелировать недостатки известных подходов и за счет этого повысить точность получаемого результата, применяя только одну итерацию модели. Рассмотрим основные положения этого подхода.

## 2. Постановка и решение задачи Дойча

Задача Дойча формулируется следующим образом. Пусть на входе квантового алгоритма имеется бинарная функция  $f_i(x)$  от переменной  $x \in \{0, 1\}$ ,  $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ . При этом функция  $f_i(x)$  является постоянной, когда принимает значения  $f_i(x) = 0$  или  $f_i(x) = 1$ . В случае, когда  $f_i(x) = x$  или  $f_i(x) = \neg x$ , она – сбалансированная. Требуется определить, к какому типу относится функция  $f_i(x)$ , используя различные сочетания двухкубитного входного регистра.

Исходя из постановки задачи, возможны четыре варианта исследуемой функции (таблица 1).

При использовании классических вычислений необходимо провести как минимум две операции – определить значения  $f_i(0)$  и  $f_i(1)$ . Квантовый алгоритм Дойча позволяет вычислить значение функции за одну операцию.

Существуют два типовых подхода к формированию квантовой схемы данного алгоритма, которые показаны на рисунке 1. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки, влияющие на точность получаемого результата. Внешне они отличаются только последовательностью применения соответствующих операторов Адамара  $H$  и идентичности  $I$  ко второму кубиту, который будем называть управляющим.

Таблица 1 – Варианты значений исследуемой функции  $f_i(x)$

$i$	$x$	$f_i$	Тип функции
1	0	0	постоянная
	1	0	
2	0	1	
	1	1	
3	0	0	сбалансированная
	1	1	
4	0	1	
	1	0	

При исследовании первого подхода (рисунок 1а) было установлено, что если первый кубит входного регистра в результате всех преобразований изменяет свое значение ( $|0_1\rangle$  на  $|1_1\rangle$  или  $|1_1\rangle$  на  $|0_1\rangle$ ), то искомая функция является сбалансированной с вероятностью 1, в противном случае – либо постоянной с вероятностью 0,5, либо о ее типе однозначно сказать нельзя.

Результат изучения второго подхода (рисунок 1б) [3] заключается в том, что если первый кубит входного регистра на выходе алгоритма изменяет свое значение, то искомая функция является сбалансированной, в противном случае при входном регистре  $|01\rangle$  или  $|11\rangle$  – постоянной с одинаковой вероятностью 1, при  $|10\rangle$  или  $|00\rangle$  – о ее типе однозначно сказать нельзя.

Сравнительный анализ подходов позволил определить закономерность: если первый кубит входного регистра изменяет свое значение на выходе алгоритма, то в обоих случаях с вероятностью 1 функция сбалансированная; если нет, то в первом случае с вероятностью 0,5 она постоянная или дать однозначный ответ не представляется возможным. Во втором случае вероятность получения правильного результата зависит от входного значения управляющего кубита: если он равен  $|1_2\rangle$ , то с вероятностью 1 функция постоянная; если –  $|0_2\rangle$ , то однозначный ответ не возможен.

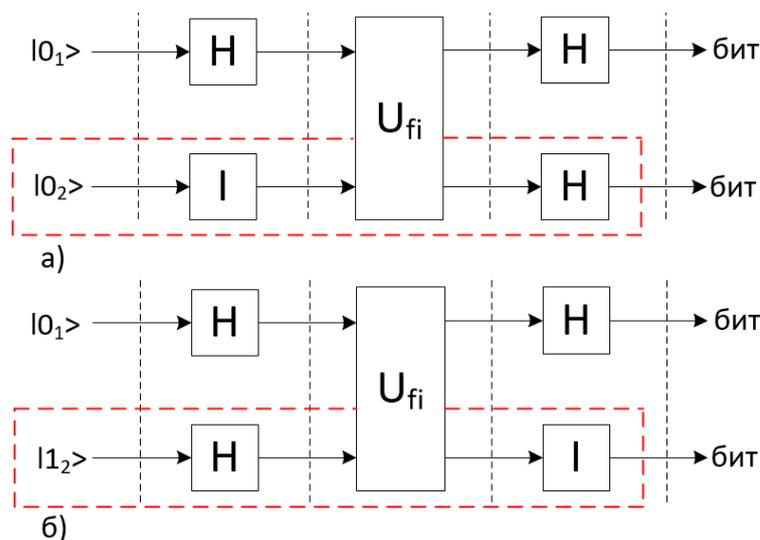


Рисунок 1 – Типовые подходы к моделированию алгоритма Дойча (а, б) и их комбинация по управляющему кубиту (показана красным цветом)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Иванцова О.В., Кореньков В.В., Ульянов С.В. Технологии интеллектуальных вычислений. Ч.2: Квантовые вычисления и алгоритмы. Квантовый алгоритм самоорганизации. Квантовый нечеткий вывод: учеб.-мет. пособие. М.: Курс, 2020. 296 с.; см. также [3].

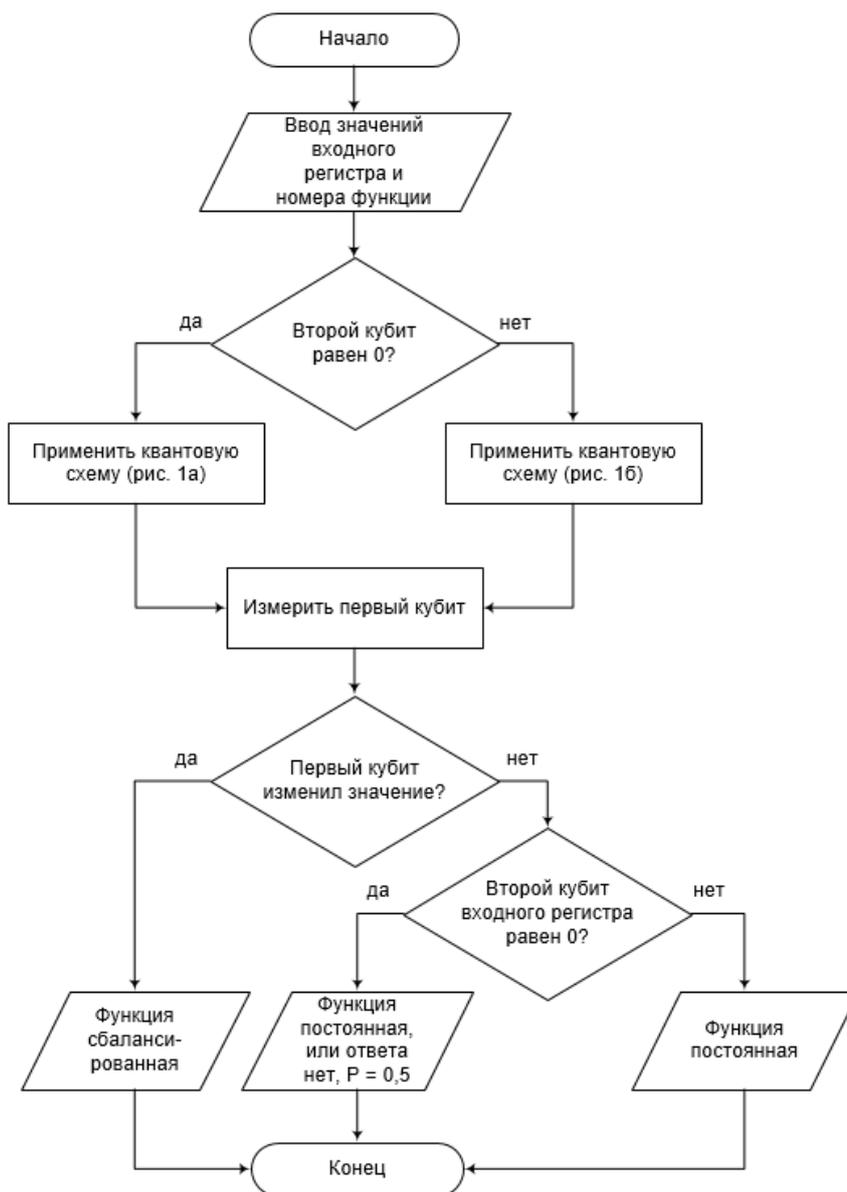


Рисунок 2 – Алгоритм, реализующий комбинированный подход к решению задачи Дойча

С учетом выявленной закономерности был разработан комбинированный подход, представляющий собой адаптивную квантовую схему, динамически изменяющуюся в зависимости от входного значения управляющего кубита (изменяющаяся часть схемы показана на рисунке 1 красным цветом). Если он равен  $|0_2\rangle$ , то применяем схему на рисунке 1а, в противном случае – схему на рисунке 1б. Алгоритм, реализующий комбинированный подход, представлен на рисунке 2.

Результаты проведенных теоретических расчетов показали, что приведенный алгоритм по сравнению с первым подходом позволяет повысить вероятность того, что функция является постоянной, на 0,5 при условии, что управляющий кубит равен  $|1_2\rangle$ ; по сравнению со вторым подходом – снизить вероятность неоднозначного ответа на 0,5 в случае, когда управляющий кубит равен  $|0_2\rangle$ .

Теперь можно построить обобщенный матричный оператор  $G_i$  в виде композиции операторов, задействованных в схемах на рисунке 1, путем их произведения, выполняемого в обратной последовательности:

$$G_i = \begin{cases} (H \otimes H) \cdot (U_{f_i} \cdot (H \otimes I)) & \text{при } |\psi\rangle = |0_2\rangle \\ (H \otimes I) \cdot (U_{f_i} \cdot (H \otimes H)) & \text{при } |\psi\rangle = |1_2\rangle \end{cases}, \quad (1)$$

где  $H$  – матрица оператора Адамара,  $H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ ;

$I$  – матрица оператора идентичности,  $I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ;

$U_{f_i}$  – оператор, который в зависимости от введенного индекса искомой функции  $f_i$  принимает вид одной из четырех матриц размерности  $4 \times 4$ ,

$$U_{f_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, U_{f_2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, U_{f_3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, U_{f_4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Когда оператор  $G_i$  сгенерировал выходной вектор, выполняется операция измерения. Квантовое измерение является недетерминированной операцией, на вход которой подается суперпозиция базисных векторов. Выходом является один из базисных векторов. При этом вероятность каждого из векторов быть измеренным определяется квадратом модуля его комплексной амплитуды в исходной суперпозиции. Например, при вводе в алгоритм, изображенный на рисунке 2, двухкубитного регистра  $|11\rangle$  и второго индекса искомой функции, используя нижнюю последовательность операторов в формуле (1), получаем следующую суперпозицию базисных векторов:

$$G_2|11\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |10\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |11\rangle,$$

где  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  – комплексные амплитуды векторов  $|10\rangle$  и  $|11\rangle$  перед измерением, амплитуды векторов  $|00\rangle$  и  $|01\rangle$  равны нулю.

Далее находим вероятности измерения базисных векторов  $|10\rangle$  и  $|11\rangle$ :

$$\left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right|^2 = 0,5.$$

После измерения получаем один из векторов  $|10\rangle$  или  $|11\rangle$  и делаем вывод о типе бинарной функции. В нашем случае вне зависимости от результата измерения можно сказать, что функция постоянная с вероятностью 1, так как первый кубит входного регистра  $|1_1\rangle$  на выходе алгоритма свое значение не изменит, а управляющий кубит не равен  $|0_2\rangle$ .

### 3. Реализация комбинированного подхода к решению задачи Дойча в среде MATLAB/SIMULINK

Модель, реализующая комбинированную квантовую схему (см. рисунок 1), была построена в пакете визуального блочного имитационного моделирования SIMULINK матричной системы MATLAB (рисунок 3) [5].

На вход схемы подаются векторы состояний двух кубитов  $Q1$ ,  $Q2$  и номер функции от 1 до 4, для чего используются блоки *Constant*. На первый кубит действуем оператором Адамара  $H$ , на второй – либо оператором Адамара, либо оператором идентичности  $I$  в соответствии с условием (1). Далее к преобразованным кубитам применяем оператор  $U(f_i)$ . Затем к первому из результирующих кубитов применяем оператор Адамара, ко второму – оператор Адамара или оператор идентичности в зависимости от значения управляющего кубита. Все преобразования реализованы с помощью соответствующих MATLAB функций. На выходе получаем вероятности измерения базисных векторов  $Q1$  и  $Q2$ , отображающиеся в блоке *Display*. Блок *out.simout* обеспечивает вывод объединенного вектора вероятностей в рабочее пространство MATLAB для построения графиков и интерпретации полученных результатов.

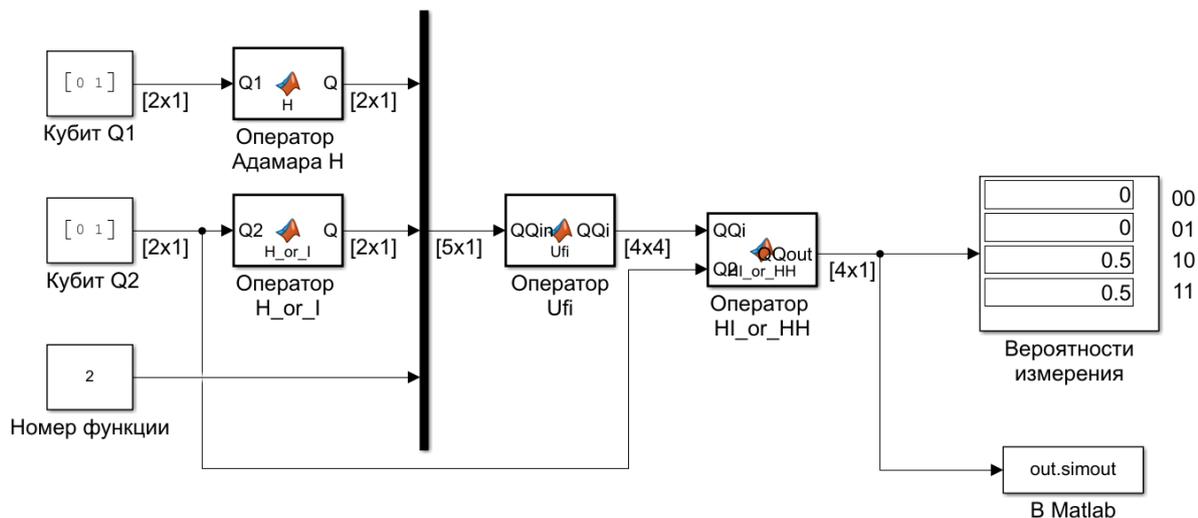


Рисунок 3 – Вид окна в пакете SIMULINK при тестировании комбинированной квантовой схемы решения задачи Дойча

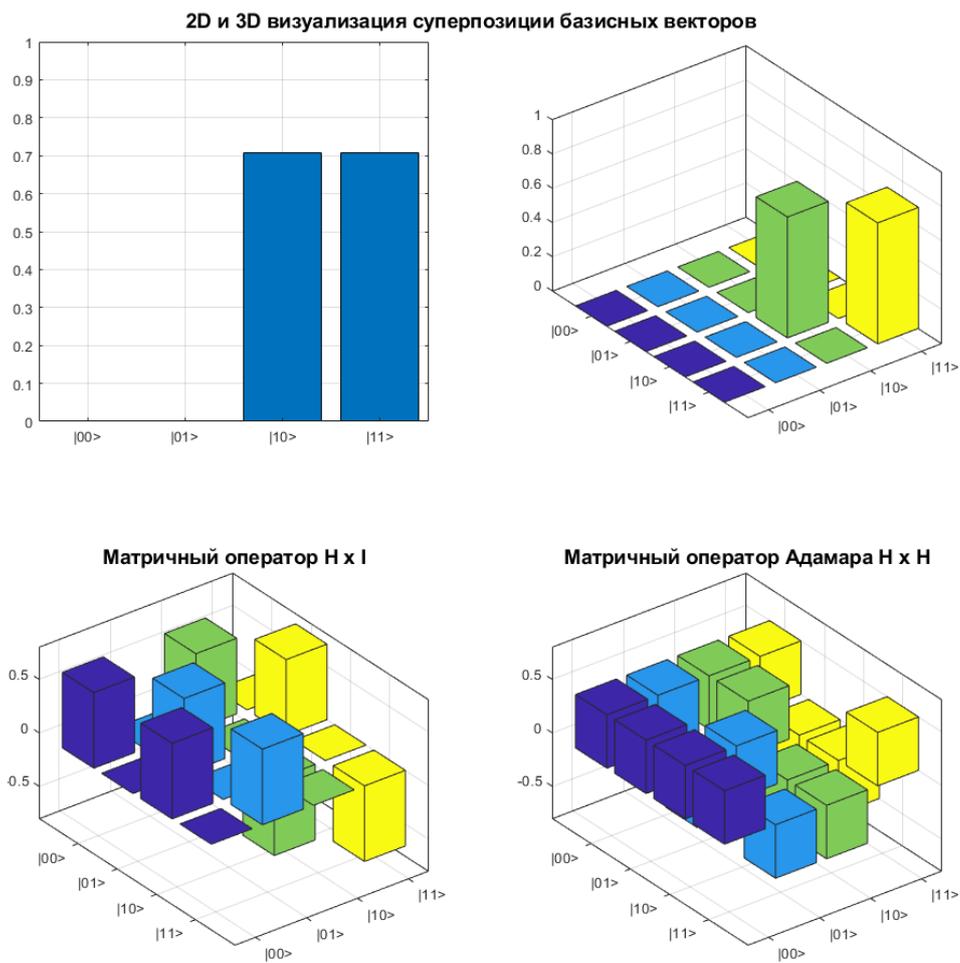
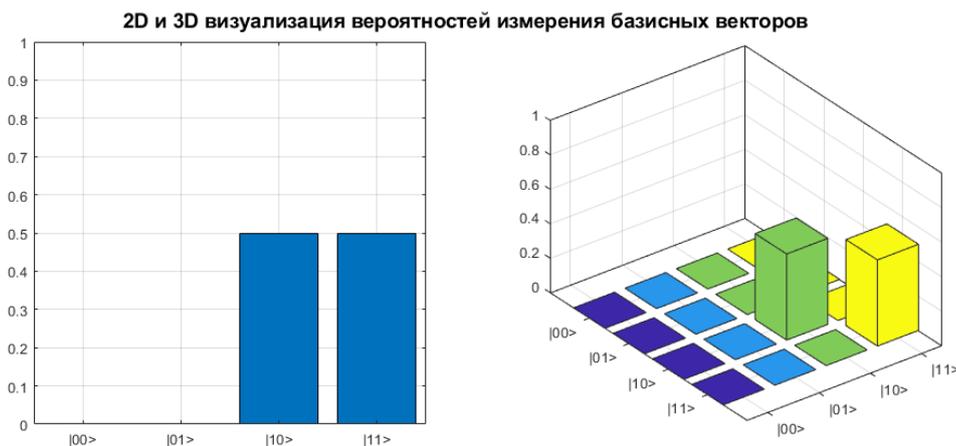


Рисунок 4 – Вид графического окна MATLAB с визуализацией матричных операторов и суперпозиции базисных векторов



Интерпретация результата до измерения: с вероятностью 1 функция - постоянная.

Рисунок 5 – Вид графического окна MATLAB с визуализацией и интерпретацией полученных результатов до операции измерения

Графическое изображение и интерпретация результатов применения модели и функции *CombDeutsch* показаны на рисунке 5.

На рисунках 3-5 приведены результаты, полученные после ввода исходных данных в виде вектора  $|11\rangle$  и второго индекса искомой функции.

Для автоматического построения графиков и вывода промежуточных и конечного результатов применения модели в среде MATLAB была создана пользовательская функция *CombDeutsch* в виде *M*-файла. На рисунке 4 представлена визуализация матричных операторов  $H \otimes H$  и  $H \otimes I$ , используемых в комбинированной квантовой схеме (1), и выходной суперпозиции базисных векторов.

Сравнительный анализ результатов моделирования и теоретических расчетов показал их полное совпадение, что позволяет сделать вывод об отсутствии ошибок в программном коде и адекватности разработанных алгоритма, модели SIMULINK и пользовательской функции *CombDeutsch*, реализующих комбинированный подход к решению задачи Дойча.

## Заключение

В статье рассмотрен комбинированный подход к решению задачи Дойча, объединяющий в себе преимущества известных подходов и позволяющий повысить вероятность получения правильного результата при различных сочетаниях входного двухкубитного регистра. Предложенный подход и его программная реализация могут быть использованы при разработке более сложных квантовых алгоритмов с небольшими изменениями в исходном коде.

Главное преимущество квантовых вычислителей перед традиционными заключается в повышенном быстродействии и производительности за счет состояний квантовой суперпозиции и запутанности, что позволяет наиболее эффективно решать задачи полиномиальной сложности, когда объем вычислений и время на его обработку находятся в экспоненциальной зависимости от длины входного регистра. Это обстоятельство является основным ограничением при моделировании квантовых алгоритмов на классическом компьютере.

С учетом этого появление квантовых компьютеров окажет существенное влияние на характеристики систем (комплексов, образцов) вооружения, военной и специальной техники, в частности, на средства защиты информации, использующие современные криптографические алгоритмы и протоколы. Например, квантовый алгоритм факторизации числа (алгоритм Шора) [6] делает криптографическую систему RSA небезопасной, квантовый алгоритм Саймона осуществляет поиск блочных шифров в режимах CBC-MAC, PMAC, GMAC, GCM и

ОСВ [7], квантовый алгоритм Гровера [1] производит полный перебор ключей блочного шифра SDES за миллисекунды. Для классического компьютера решить такие задачи за приемлемое время не представляется возможным. С другой стороны, квантовые алгоритмы могут генерировать шифры, которые невозможно будет взломать классическими алгоритмами, что позволит создавать средства защиты информации с повышенной стойкостью.

Несмотря на то, что в настоящее время прикладная значимость решаемых с помощью квантовых алгоритмов задач пока невысока, представляется целесообразным все разработанные модели объединять в некую базу квантовых алгоритмов, которая будет программной основой для выполнения квантовых вычислений на отечественном квантовом компьютере.

Вполне возможно, что аппаратной основой будет гибридный вариант квантового и классического компьютеров. При этом вычисления будут производиться квантовым процессором, а их результат сообщаться обычному процессору, который будет управлять его работой: настраивать гейты, связывать их друг с другом, запускать квантовые вычисления, инициализировать и измерять кубиты [8; 9].

#### Список источников

1. Смирнов Ю.А., Актимиров А.В. Моделирование квантового алгоритма Гровера для поиска схемотехнического решения в прикладной программе MATLAB // Молодой ученый. 2019. №13(251). С. 49-62.
2. Смирнов Ю.А., Актимиров А.В. Имитационное моделирование квантового алгоритма решения систем линейных уравнений в прикладной программе MATLAB // Молодой ученый. 2019. №51(289). С. 31-39.
3. Перченко О.В. Квантовое моделирование алгоритма Дойча в среде MATLAB/SIMULINK // Компьютерные инструменты в образовании. 2010. №1. С. 22-29.
4. Шемякина М.А., Бабаев А.М. Моделирование квантового алгоритма Дойча на классическом компьютере // Аллея Науки. 2018. Т.4. №11(27). С. 910-915.
5. Горский А.С., Полушкин В.М., Князев Р.И., Ермоленко А.В., Миргородская К.М. Имитационная модель комбинированного квантового алгоритма Дойча // Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ RU 2024612944. Дата регистрации 23.01.2024. Дата публикации 07.02.2024.
6. Шемякина М.А. Моделирование квантового алгоритма Шора на классическом компьютере // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. №4-2. С. 55-59.
7. Глушанский С.М., Потапов В.С. Моделирование работы квантового алгоритма Саймона для нахождения периода функции // Информационные технологии, системный анализ и управление, (ИТСАУ-2019): сб. трудов XVII Всеросс. науч. конф. (Таганрог, 4-7 декабря 2019 г.). В 2 т. Т.1. Ростов-н/Д.: Южн. фед. ун-т, 2019. С. 88-91.
8. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность: монография. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 352 с.
9. Зрелов П.В., Иванцова О.В., Кореньков В.В., Рябов Н.В., Ульянов С.В. Эффективное моделирование квантовых алгоритмов на симуляторах классической архитектуры // Системный анализ в науке и образовании. 2022. №1. С. 42-54.

#### Информация об авторе

А.С. Горский – кандидат технических наук.

Научная статья  
УДК 62-529

## Концепция управления техническим состоянием оборудования на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта

Евгений Маркович Батыршин, Роман Михайлович Вивчарь, Андрей Владимирович Пачин

*Аннотация.* На эффективность развития современного общества существенно влияют системы, созданные для функционирования в космосе и из космоса. Они позволяют решать самые различные задачи. При этом подобные средства являются крайне сложными техническими устройствами, и задача обеспечения их надежности имеет значительную актуальность. Одним из рациональных направлений достижения данной цели является внедрение технологий искусственного интеллекта. В работе описана концепция, основанная на использовании искусственных нейронных сетей для решения задач определения текущего и прогнозного технического состояния техники, оснащенной датчиками диагностических параметров.

*Ключевые слова:* надежность техники; искусственный интеллект; искусственные нейронные сети; компьютерное зрение; проактивное управление

*Для цитирования:* Батыршин Е.М., Вивчарь Р.М., Пачин А.В. Концепция управления техническим состоянием оборудования на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 49-55.

Original article

## The Concept of Equipment Technical Condition Management Based on AI Neural Network Technology

Evgenij M. Batyrshin, Roman M. Vivchar, Andrej V. Pachin

*Abstract.* The effectiveness of the modern society evolution is significantly influenced by systems designed to operate in- and from space. The systems allow to solve a variety of tasks. At the same time, such tools are the extremely complex technical devices, and the task of their reliability ensuring is of considerable actual. One of the rational ways to achieve this goal is the introduction of artificial intelligence technologies. The paper describes a concept based on the use of artificial neural networks to solve the problems of determination of the current and predictive technical condition of facilities equipped with diagnostic parameter sensors.

*Keywords:* equipment reliability; artificial intellect; artificial neural network; computer vision; proactive control

*For citation:* Batyrshin E.M., Vivchar R.M., Pachin A.V. The Concept of Equipment Technical Condition Management Based on AI Neural Network Technology // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 49-55.

## Введение

Космические системы оказывают существенное влияние на деятельность современного общества. Без систем, решающих задачи дистанционного зондирования Земли, навигации и связи невозможно обеспечение устойчивого динамического развития современного государства и общества. Количество, масштабы и сложность космической техники постоянно увеличивается. Однако, этот рост обуславливает и увеличение требований к надежности таких систем. Многолетние и дорогостоящие исследования, направленные на совершенствование элементной базы, и конструкторские решения по повышению безотказности оборудования позволили существенно снизить количество негативных ситуаций, однако полностью исключить отказы элементов космических систем невозможно, а нахождение в неработоспособном состоянии влечет за собой значительные потери как финансовые, так и репутационные. Отказ систем, обеспечивающих безопасность и обороноспособность, может привести к самым негативным сценариям. Данные обстоятельства определяют значительную актуальность включения с целью обеспечения требуемой надёжности в состав космических систем средств управления техническим состоянием, в первую очередь, диагностирования отказов и прогнозирования предотказных состояний.

## Современное состояние систем управления надежностью

Основу подсистемы технической диагностики современных сложных систем составляют сенсорные поля, предназначенные для сбора и обработки значений диагностических параметров оборудования. Размещаемые как на борту подвижных объектов, так и на объектах наземной инфраструктуры датчики токов, напряжений, магнитного и электрических полей, ионизирующих излучений, ускорений, вибрации, температуры, давления, шума, освещенности, газоанализаторы и другие позволяют практически в режиме реального времени формировать массивы данных, обработка которых позволяет сделать заключение о техническом состоянии системы.

Существенные объемы данных, поступающих от сенсорных полей, а также высокие требования к оперативности принятия решений по оценке технического состояния объекта определяют однозначную необходимость автоматического выполнения этих задач. В настоящее время разработаны и представлены на рынке системы класса SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Программные пакеты SCADA решают следующие основные задачи:

- хранение данных, поступающих от сенсоров, в базе;
- отображение информации в виде, удобном для оператора;
- анализ данных в соответствии с заложенной в алгоритмы логикой;
- формирование аварийных сигналов и сообщений;
- обобщение статистики, формирование отчетности.

Применение таких программ позволят сократить время выявления факта отказа оборудования, диагностирования и восстановления работоспособности. На основе статистических данных подготавливаются решения по повышению надежности объекта, совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта. Несмотря на высокую стоимость приобретения и поддержки, внедрение SCADA позволяет существенно сократить издержки, вызываемые неработоспособностью оборудования.

Несмотря на все преимущества, которые позволяет получить применение программ SCADA, они не всегда обладают достаточной гибкостью и точностью. Определение отказов и иных негативных ситуаций формируется только в соответствии с алгоритмами, описывающими известные негативные ситуации. В случаях, не предусмотренных логикой, данные сенсоров могут быть интерпретированы неверно, что повлечет неверное решение по факту отказа либо по локализации отказавших элементов [1].

Кроме того, в существующих программных пакетах не всегда применяются компоненты, позволяющие на основе имеющихся больших наборов данных получать прогнозы по изменению технического состояния оборудования [2]. А наличие таких прогнозов является основой для применения проактивного управления, существенно повышающего эффективность эксплуатации техники.

Одним из перспективных рациональных направлений по совершенствованию систем диагностирования технического состояния сложных объектов является включение в их состав модулей предиктивной аналитики и проактивного управления, построенных на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) [3].

Согласно принятой в 2019 году Национальной стратегии развития технологий в области искусственного интеллекта, искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека, получая результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека<sup>1</sup>. На современном этапе развития методология разработки систем ИИ опирается на использование ряда различных технологий, наиболее развитыми из которых являются семантические системы, описывающие подходы к получению, представлению, преобразованию и использованию вычислительными машинами знаний, и искусственные нейронные сети.

---

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

Искусственные нейронные сети (ИНС) – одна из наиболее стремительно развивающихся технологий искусственного интеллекта, посвященная алгоритмизации и реализации в виде программ для ЭВМ структур, состоящих из искусственных нейронов (элементов, выполняющих преобразование суммы входных сигналов в выходной в соответствии с заданной активационной функцией) и связывающих их синапсов, имеющих взвешенные значения. В формальном виде функционирование полносвязной ИНС с тремя слоями может быть описано следующим образом:

$$f(X) = F \left( \sum_i^I w_i^{(2)} * F \left( \sum_j^J w_{ij}^{(1)} x_j \right) \right), \quad (1)$$

где  $F$  – активационная функция,  $X$  – вектор входных значений (аргументов функции),  $W^{(1)}$  и  $W^{(2)}$  весовые коэффициенты между слоями сети.

Главными преимуществами ИНС являются способности к обучению и обобщению [4]. Первое определяет возможность сети давать правильные ответы после многократного просмотра входных данных из обучающего набора, а второе позволяет получать с достаточной вероятностью правильные ответы при применении с обученной ИНС входных данных не из обучающего набора.

С применением сенсорных полей, средств хранения и обработки данных, а также аппаратно-программных реализаций ИНС может быть решена задача определения факта наступления негативной ситуации и прогнозирования изменения во времени ряда диагностических признаков оборудования для определения приближения негативной ситуации.

Для решения данной задачи используются методы, объединенные в концепции управления техническим состоянием оборудования на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта. Основными составляющими данной концепции являются: технология формирования цифровых диагностических сигнатур оборудования, метод определения негативных ситуаций на основе компьютерного зрения и метод прогнозирования изменения технического состояния с применением ИНС.

## Цифровые диагностические сигнатуры оборудования

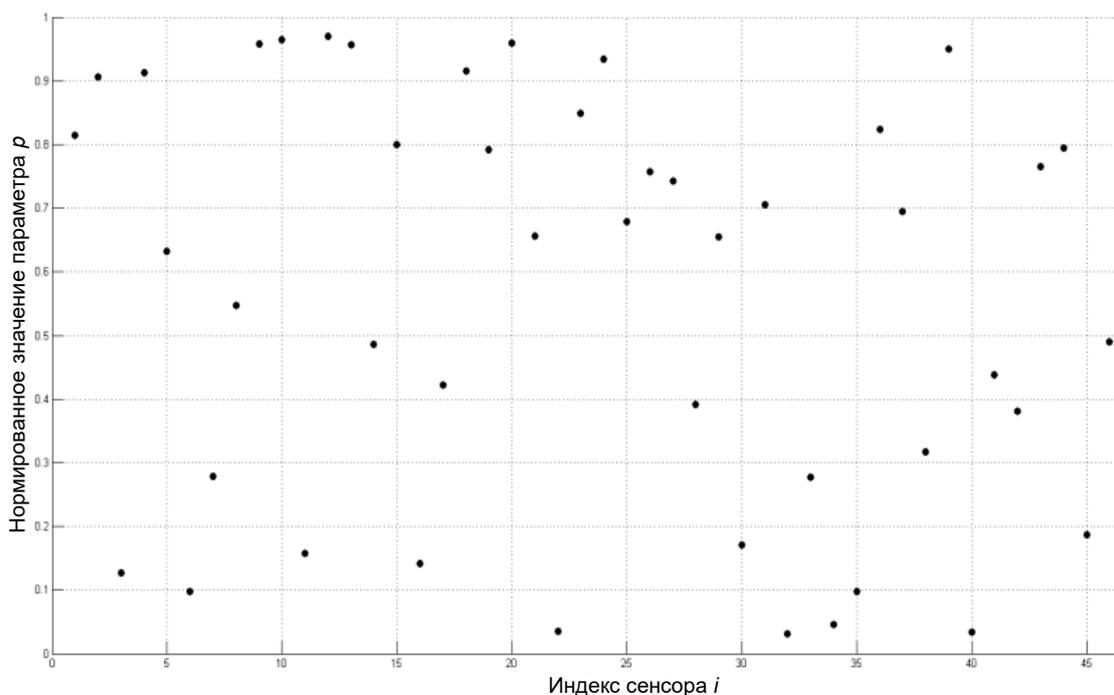


Рисунок 1 – Вариант диагностической сигнатуры, отображающей нормированные данные 50 сенсоров

В первом методе под диагностической сигнатурой оборудования понимается бинарное цифровое изображение (кадр), содержащее данные. На рисунке 1 представлен кадр, полученный авторами статьи с сенсорного поля объекта эксплуатации. В минимальном представлении сигнатура включает значения диагностических параметров, полученных с датчиков. Точки с координатами, соответствующими индексу сенсора  $i, i = \overline{1, I}$  и значению параметра  $p_i, p \in [0; 1]$ , имеют уровень яркости, отличный от общего фона. В заданный дискретный момент времени  $t$  сигнатуре соответствует вектор  $S_t = (p_{1t}, p_{2t}, \dots, p_{it}, \dots, p_{It})$ . Временные последовательности значений параметров хранятся в базе данных и являются исходными данными для выполнения дальнейших вычислений.

### Определение негативных ситуаций на основе компьютерного зрения

В основе метода определения негативных ситуаций на основе компьютерного зрения лежат алгоритмы интеллектуального анализа данных с применением ИНС. Использование ИНС в качестве классификаторов обеспечивает достаточную интерпретируемость результатов в сочетании с высокой оперативностью, определяемой простотой реализации<sup>2</sup>.

При классификации состояния оборудования на основе диагностических сигнатур могут быть применены как алгоритмы бинарной классификации (нормальная работа или ненормальная ситуация), так и более сложные классификаторы, позволяющие различать исправное, работоспособное, частично работоспособное, неисправное и неработоспособное состояния.

ИНС-классификаторы используют архитектуру многослойных перцептронов прямого распространения. В таком случае на вход первого слоя сети подается диагностическая сигнатура в виде вектора значений параметров. После обработки на последующих скрытых слоях сети на выходных нейронах формируется вывод об отнесении текущей ситуации к одному из классов.

Для обеспечения достаточной точности классификации необходимо выполнение на этапе разработки ИНС ряда условий, таких как подбор соответствующей архитектуры сети, наличие достаточного набора обучающих данных и правильная реализация алгоритма обучения. Кроме того, в ходе обучения и испытаний разработанного модуля оценивается необходимость введения специальной предварительной обработки исходных данных и результатов работы ИНС.

При этом для решения задач бинарной классификации возможно применение самообучающихся ИНС, что позволит достигать результатов в определении негативных ситуаций при эксплуатации оборудования даже при отсутствии достаточных объемов статистических данных.

### Прогнозирование изменения технического состояния с применением ИНС

Основой обеспечения заданной результативности проактивного управления техническими системами является прогнозирование изменения параметров физического объекта во времени. С использованием полученных достоверных прогнозов вырабатываются решения по целенаправленному воздействию на систему.

Многие классические методы прогнозирования временных рядов, такие как регрессия или методы машинного обучения, основаны на допущении об известном виде закона, описывающего изменение диагностических параметров. Однако, опыт реальной эксплуатации показывает, что такое допущение зачастую приводит к существенным погрешностям, особенно в сложных системах из множества взаимовлияющих элементов.

Способность ИНС к экстраполяции временного ряда значений диагностического параметра реализуется с применением алгоритма «скользящего окна». При этом набор обучающих данных для ИНС формируется из ранее полученных значений временного ряда. Под «окном» понимается временной интервал, содержащий обучающие значения. В ходе работы алгоритма «окно» смещается по временному ряду с заданным шагом и каждое

---

<sup>2</sup> Орешков В.И., Васильев Е.П. Интеллектуальные технологии в системах поддержки принятия решений: учеб. пособие. Рязань: Book Jet, 2020. 160 с.

положение окна формирует один обучающий пример для ИНС. На рисунке 2 приведена разработанная авторами иллюстрация работы данного метода.

Количество окон определяется объемом доступных статистических данных. Обучение ИНС сводится к последовательному выполнению прямого прохода по каждому из окон с последующим вычислением ошибки и корректировкой весов связей.

При прогнозировании изменения диагностических параметров наиболее эффективным является алгоритм «открытой петли», при котором с поступлением обновленных данных от сенсорного поля проводится дообучение ИНС, что повышает точность прогнозирования относительно алгоритма «закрытой петли». На рисунке 3 представлена иллюстрация применения описанных алгоритмов, приведенная в справочной документации пакета MatLAB.

Однако простые ИНС не обеспечивают достаточной точности прогнозирования, это определяется накоплением ошибки. При прогнозировании изменений диагностических параметров технических систем наиболее целесообразным является применение рекуррентных ИНС. В подобных сетях выходные данные формируются не только на основе текущих входных значений, но также и учитывается предыдущее состояние ИНС. Подобные сети позволяют получать прогнозы для отдельных диагностических признаков с достаточно высокой точностью. Наиболее целесообразным инструментом являются рекуррентные сети с долговременной короткой памятью (англ. long short-time memory, LSTM), что подтверждено исследованиями, описанными в ряде трудов [5].



Рисунок 2 – Иллюстрация работы алгоритма скользящего окна

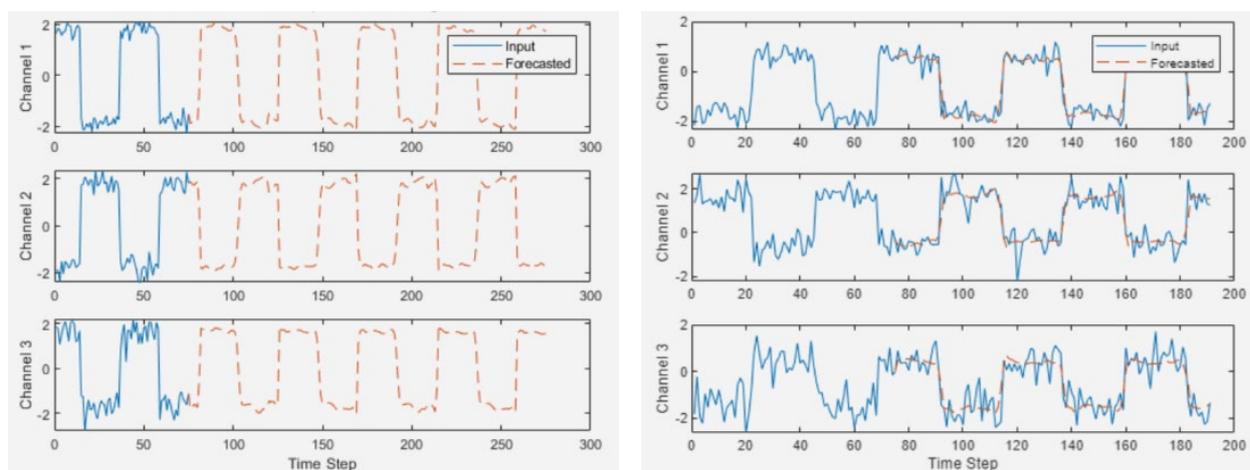


Рисунок 3 – Прогнозы изменения значений диагностических параметров, полученные с помощью алгоритмов «закрытой» и «открытой петли»

Метод прогнозирования изменения технического состояния предусматривает использование кластера LSTM ИНС, в котором для прогнозирования изменения каждого параметра системы на равную глубину используется свой нейросетевой модуль. Такой подход позволяет получить прогнозную диагностическую сигнатуру  $S_{\Pi}$  для технической системы, отражающую прогнозные значения ее параметров. На рисунке 4 представлены полученные авторами диагностические сигнатуры, соответствующие нормальной работе объекта, а также прогнозирующие отклонение ряда параметров от исправного состояния.

Одним из основных ограничений являются необходимые значительные вычислительные мощности, потребные для реализации подобного кластера, что, в свою очередь, сокращает возможность применения программ, реализующих данный метод, в составе бортовой аппаратуры космических систем. Одним из наиболее перспективных направлений преодоления данных ограничений является применение специализированных аппаратных решений, построенных на нейросетевых процессорах [6], и разработка специализированного оптимизированного программного обеспечения.

При каждом получении  $S_{\Pi} = (p_{1\Pi}, p_{2\Pi}, \dots, p_{i\Pi}, \dots, p_{I\Pi})$  проводится ее сравнение с сигнатурой, соответствующей работоспособному состоянию, или текущей сигнатурой  $S_t$ . Разница  $\Delta_t$  между сигнатурами определяется как расстояние между точками в  $I$ -мерном пространстве, где  $I$  равно количеству датчиков, данные которых отражены в сигнатуре.

$$\Delta_t = \sqrt{(p_{1\Pi} - p_{1t})^2 + (p_{2\Pi} - p_{2t})^2 + \dots + (p_{i\Pi} - p_{it})^2 + \dots + (p_{I\Pi} - p_{It})^2}. \quad (2)$$

На основе полученного значения  $\Delta_t$  принимается решение об изменении технического состояния системы. При накоплении достаточных данных для конкретных образцов космических средств на основании диагностических сигнатур могут быть составлены прогнозы по переходу системы в неисправное, частично работоспособное или неработоспособное состояние. Данные прогнозы являются одним из инструментов механизмов проактивного управления техническими системами и основой для принятия решений по проведению технического обслуживания, ремонтов или иных операций, направленных на поддержание требуемой надежности.

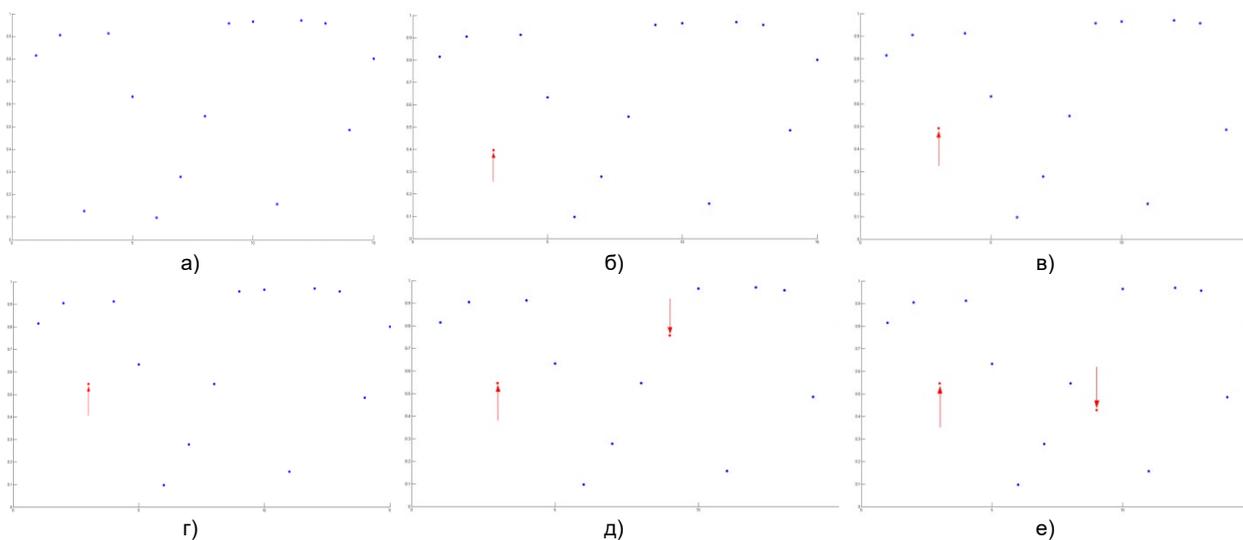


Рисунок 4 – диагностические сигнатуры системы:

- а)  $S_t$ , работоспособное состояние; б)-г) прогнозные сигнатуры, с отклонением параметра  $i = 3$ ;  
 д)-е) прогнозные сигнатуры с отклонением параметров  $i = 3$  и  $i = 9$

## Заключение

Построение новых космических систем, а также модернизация существующих, с внедрением систем проактивного управления, является одним из рациональных путей обеспечения надежности оборудования. Вместе с тем при создании системы, включающей модули, разработанные на основе представленной концепции, необходимо учитывать и дополнительные требования, которые накладывает подобный подход.

Предлагаемый подход к управлению техническим состоянием будет наиболее эффективен при заблаговременном, еще на этапе определения требований к разрабатываемой системе, планировании глубокой интеграции аппаратных и программных компонент системы управления надежностью в состав оборудования.

Вместе с тем, при создании системы, включающей модули, разработанные на основе представленной концепции, необходимо учитывать и дополнительные ограничения, которые накладывает подобный подход.

В первую очередь, это касается создания и расширения существующих сенсорных полей. Разработка системы сбора, передачи, обработки и хранения диагностических параметров сложных технических объектов является сложной задачей, а развертывание данных систем на оборудовании потребует значительных ресурсов, особенно при модернизации существующих систем. Кроме того, для некоторых элементов космических систем, в первую очередь подвижных, установка дополнительного сенсорного оборудования может существенно влиять на допустимые масса-габаритные показатели.

Внедрение нейросетевых технологий влечет необходимость развертывания дополнительной вычислительной инфраструктуры, позволяющей выполнять объемные вычисления при решении задач компьютерного зрения и предиктивной аналитики.

При всех сложностях внедрение современных решений в перспективе позволит обеспечивать надежность оборудования на заданном уровне и в сочетании с комплексом других модулей, реализующих концепцию проактивного управления, повысить эффективность эксплуатации существующих и перспективных космических систем.

## Список источников

1. Манькова Ю.В. Инновационные методы и технологии для автоматизации и оптимизации технологических процессов // Образование. Наука. Производство: сб. докладов XV Междунар. молодеж. форума (Белгород, 23-24 октября 2023 г.). Белгород: БелГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. С. 111-113.
2. Слегина В.А. Обзор и сравнение SCADA-систем // Вестник науки. 2022. Т.3. №11(56). С. 183-187.
3. Балухто А.Н., Романов А.А. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т.6. №1. С. 65-75.
4. Абрамов О.В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. 2011. №2(28). С. 4-15.
5. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. 1997. Vol.9. Iss.8. P. 1735-1780.
6. Мамонова Т.Е., Матлахов Г.А. Системный анализ современных нейрочипов и нейропроцессоров // Молодежь и современные информационные технологии: сб. трудов XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Томск, 21-25 марта 2022 г.). Томск: НИТПУ, 2022. С. 31-32.

## Информация об авторах

Р.М. Вивчарь – кандидат технических наук;  
А.В. Пачин – кандидат технических наук.

# ***ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА***

## ***Military economy***

Научная статья  
УДК 355/359

## Интерактивная модель оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск

Владимир Леонидович Гладышевский, Александр Васильевич Леонов,  
Алексей Юрьевич Пронин, Константин Викторович Лендоев

*Аннотация.* Предложена интерактивная модель, позволяющая оптимизировать расходы на ударные и обеспечивающие системы в интересах повышения боевых возможностей группировки войск. Модель представлена в виде многоэтапного многоконтурного циклического процесса оптимизации ресурсов, в основу которого положены принципы эвристической самоорганизации и аксиоматические научные постулаты. Интерактивная модель имеет возможность реализации нескольких постановок задачи оптимизации ресурсов между ударными и обеспечивающими системами при различных сценарных условиях. Приведен практический пример использования модели.

*Ключевые слова:* интерактивная модель; ударная система; обеспечивающая система; группировка войск; оптимизация; ресурсы

*Для цитирования:* Гладышевский В.Л., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В. Интерактивная модель оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 57-68.

Original article

## Interactive Model of the Spending Optimization for a Force Grouping Combat Multiplication

Vladimir L. Gladyshevskij, Aleksandr V. Leonov, Aleksej Yu. Pronin, Konstantin V. Lendoev

*Abstract.* An interactive model is proposed that allows to optimize the costs of strike and support systems in the interests of increasing the combat capabilities of a group of forces. The model is presented in the form of a multi-stage, multi-circuit cyclic process of resource optimization that is based on the principles of heuristic self-organization and axiomatic scientific postulates. The interactive model has a possibility to implement several formulations of the resource optimization problem between strike and support systems under different scenario conditions. A practical example of the model usage is given.

*Keywords:* interactive model; strike system; support system; force grouping; optimization; resources

*For citation:* Gladyshevsky V.L., Leonov A.V., Pronin A.Y., Lendoev K.V. Interactive Model of the Spending Optimization for a Force Grouping Combat Multiplication // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 57-68.

В соответствии со сложившейся к настоящему времени терминологией группировка войск (как боевая система) включает в себя ударную и обеспечивающую системы, а также управляющую систему (в данной статье не рассматривается) [1, с.22]. При этом ударная система представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных видов оружия, их носителей и живой силы, а обеспечивающая система – совокупность функционально взаимосвязанных сил и средств, позволяющая реализовать боевой потенциал ударной системы и поддержание в боеспособном состоянии группировки войск в целом.

Обоснование оптимальных расходов<sup>1</sup> на ударную и обеспечивающую системы в интересах повышения боевых возможностей группировки войск<sup>2</sup> является в настоящее время весьма актуальной задачей. Действительно, современная геополитическая обстановка в мире и сложные экономические условия развития нашей страны определяют необходимость рационального расходования финансовых средств на ударные и обеспечивающие

<sup>1</sup> Далее рассматриваются расходы только финансовых средств (ресурсов).

<sup>2</sup> Боевые возможности группировки войск (объединений, соединений, частей и подразделений) – количественно-качественные показатели, характеризующие возможности выполнять боевые задачи в установленном время в конкретной обстановке.

системы и их оперативного перераспределения, в случае необходимости – в пользу обеспечивающих систем и, наоборот, в пользу ударных систем. Особенности и оперативно-тактические условия применения группировки войск в ходе специальной военной операции на Украине, а также опыт США, приобретенный в ходе проведения различных вооруженных конфликтов конца XX – начала XXI вв., убедительно показывают необходимость развития обеспечивающих систем в направлении повышения эффективности ударных систем и поддержания боеспособности группировки войск [2]. Обоснование рационального расходования финансовых средств должно опираться на научно-доказанные и апробированные расчеты, модели и методики. Именно поэтому все большую значимость приобретают модели, с использованием которых представляется возможным установить предельно допустимый (оптимальный) объем перераспределяемого ресурса и достигаемое при этом повышение боевых возможностей группировки войск за счет увеличения эффективности обеспечивающих систем и их «вклада» в поддержание ударных систем в боеспособном состоянии.

В этой связи ввиду сложности формализации математической модели, пригодной для решения данной задачи, авторами предложена интерактивная модель. Данная модель позволяет органам военного управления (ОВУ), в том числе лицам, принимающим решения (ЛПР), оперативно перераспределять ресурсы между ударной и обеспечивающей системами группировки войск. Далее рассмотрены следующие вопросы:

общие положения и принципы построения интерактивной модели;

структура интерактивной модели;

практический пример использования интерактивной модели для повышения боевых возможностей группировки войск.

## 1. Общие положения и принципы

Предположим, что в состав типовой группировки войск входят ударная система (УС) и обеспечивающая система (ОС).

Различные виды, формы и способы взаимодействия УС и ОС направлены на выполнение боевых задач, стоящих перед группировкой войск в установленное время, в конкретной обстановке. В общем случае боевые возможности группировки войск зависят не только от количественно-качественных показателей, но и от ее боеспособности, уровня подготовки, морально-психологического состояния, искусства командного состава, а также характера противодействия противника, условий местности и погоды [3, с.363].

Традиционно повышение боевых возможностей группировки войск исследуется через совершенствование ударной системы, не уделяя должного внимания обеспечивающей системе. Одним из способов повышения боевых возможностей группировки войск является перераспределение запланированных расходов на ударную систему в пользу обеспечивающей системы. Существует несколько вариантов такого перераспределения ввиду невозможности получения или поступления ресурсов извне. Подобное перераспределение возможно по следующим объективным предпосылкам. На ударную систему выделяются, как правило, такие объемы ресурсов, которые значительно превышают ресурсы, выделяемые на обеспечивающую систему. Например, на развитие наземных сил общего назначения [4] требуется ресурсов почти на порядок больше, чем на средства обеспечения общего назначения. Предварительные результаты расчетов показали, что даже при незначительном объеме поэтапно перераспределяемого ресурса (например, 1% от общего объема ресурсов) наблюдается существенное увеличение боевых возможностей группировки войск за счет увеличения эффективности обеспечивающей системы и ее «вклада» в решение задач ударной системы.

В этой связи, с одной стороны, снижение некоторой доли ресурсов на ударную систему (например, за счет таких мероприятий, как проведение модернизации некоторых существующих образцов ВВСТ вместо закупок новых образцов и др.) в целом незначительно скажется на боевых возможностях группировки войск. Но, с другой стороны, такая «экономия» ресурсов может позволить существенно повысить эффективность обеспечивающей системы и ее «вклад» в ударную систему и, в целом, в боевые возможности группировки

войск. Это возможно за счет проведения следующих программных мероприятий: оптимизация номенклатуры средств обеспечивающей системы; закупки новых образцов; совершенствование научно-технического задела (НТЗ) для создания новых образцов и т.д. Такой подход в дальнейшем будем называть принципом «экономного» и «эффективного» перераспределения ресурсов.

Таким образом, реализация сформулированного принципа «экономного» и «эффективного» перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами может позволить повысить (естественно, до определенного уровня) боевые возможности группировки войск.

Следует отметить, что данный принцип вполне согласуется с синергетическим принципом, являющимся одним из основных в современной теории самоорганизации. Согласно данному принципу «малые», но топологически правильные воздействия на микроуровне могут приводить к значительным эффектам на макроуровне системы [5]. В работе [6] показано, что синергетический принцип базируется на фундаментальном понятии «резонанс». В данном случае явление резонанса заключается в «совпадении» (согласовании) внешних воздействий (то есть объема перераспределяемых ресурсов) с внутренними возможностями обеспечивающей системы по совершенствованию своего состава и структуры в направлении повышения ее эффективности и «вклада» в ударную систему и, в целом, в боевые возможности группировки войск.

Однако для практической реализации упомянутого выше принципа «экономного» и «эффективного» перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системой необходимо установить:

а) максимальный (оптимальный) предел роста боевых возможностей группировки войск и соответствующий этому пределу объем перераспределяемых ресурсов;

б) оптимальную единичную долю («квант») перераспределяемого ресурса на каждом этапе оптимизации ресурсов. Размер такого «кванта» должен быть таким, чтобы позволить установить более точное соответствие максимального предела роста боевых возможностей группировки войск и объема перераспределяемых ресурсов, соответствующего этому пределу.

В этой связи далее рассмотрены структура интерактивной модели (в том числе: теоретическая основа, блок-схема и аксиоматическое описание), а также пример ее практического использования.

## 2. Структура интерактивной модели

### *Теоретическая основа интерактивной модели*

Теоретическая основа интерактивной модели (ИМ) базируется на использовании метода эвристической самоорганизации сложных систем [7], который в настоящее время позиционируется как направление технической кибернетики, основным предметом изучения которой являются многоэтапные многоконтурные циклические процессы принятия решений по эвристическим критериям. При этом для практической реализации эвристической самоорганизации могут использоваться как интуитивные и логические приемы и способы, так и хорошо апробированные методы (методология) программно-целевого планирования, базирующаяся на общенаучном системном подходе. Таким образом, под эвристическим методом в данной статье понимается совокупность интуитивных и логических приемов и способов, а также методов научного исследования, совместно используемых для достижения цели в условиях неполноты исходной информации и отсутствия четкой программы управления процессом решения научной задачи. В качестве методов научного исследования, как упоминалось выше, используются системный подход и методы (методология) программно-целевого планирования. Метод эвристической самоорганизации в настоящее время используется для обоснования развития сложных систем военного назначения [8].

Целесообразность использования именно эвристического метода в данном исследовании обусловлена необходимостью установления зависимости между входными параметрами (перераспределяемый ресурс) и выходными целевыми параметрами (боевые возможности группировки войск). Решение данной задачи осуществляется, как правило, в условиях

неполноты исходной информации об объеме выделяемых ресурсов на развитие боевой системы, а также отсутствия четкой программы управления процессом перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами.

Следует отметить, что в современной науке существует большое множество определений понятия «самоорганизация», каждое из которых отражают определенную область ее практического применения. С целью использования этого нового понятия в данной предметной области на основе обобщения и анализа известных понятий сформулировано следующее адаптированное определение: самоорганизация – это целенаправленный процесс изменения состава и структуры боевой системы под воздействием внешних факторов и условий.

С учетом вышеизложенного в интересах уточнения роли самоорганизации на этапах оптимизации ресурсов и исследования причинно-следственных связей между обеспечивающей и ударной системами на каждом этапе потребовалось представить процесс оптимизации ресурсов в виде многоэтапного многоконтурного циклического процесса, базирующегося на следующих принципах эвристической самоорганизации:

множественности возможных вариантов состава и структуры ударной и обеспечивающей систем на каждом этапе оптимизации ресурсов (многовариантность);

внешнего дополнения, при котором преобразование состава и структуры ударной и обеспечивающей систем осуществляется на основе использования той доли ресурсов, которая поступила к обеспечивающей системе от ударной системы на каждом этапе оптимизации ресурсов (трансформация, преобразование);

неокончателных решений, когда выбор рациональной стратегии регулирования процесса перераспределения ресурсов осуществляется на основе оценки достаточности ресурсов ударной системы и возможности достижения предела роста боевых возможностей группировки войск, соответствующего этим ресурсам (оптимизация).

В соответствии с указанными принципами процесс оптимизации ресурсов на каждом этапе осуществляется одновременно за счет двух разнонаправленных движущих сил самоорганизации: доли перераспределяемого ресурса на каждом этапе оптимизации ресурса (контур  $\{C\}$ ); возможных вариантов состава и структуры обеспечивающей системы, позволяющих повысить реализацию боевых возможностей ударной системы и, в целом, повысить боевые возможности группировки войск на каждом этапе оптимизации ресурсов (контур  $\{W\}$ ).

В интегрированном виде контуры  $\{C\}$  и  $\{W\}$  представляют цикл самоорганизации обеспечивающей и ударной систем.

Таким образом, с использованием метода эвристической самоорганизации и принципов, его реализующих, ударная и обеспечивающая системы представлены как целостная самоорганизующаяся система, которая под влиянием внешних воздействий (в виде доли перераспределяемого ресурса на каждом этапе оптимизации) преобразует свой состав и структуру в направлении повышения боевых возможностей группировки войск.

#### *Блок-схема алгоритма интерактивной модели*

Блок-схема алгоритма ИМ, построенная на основе использования метода эвристической самоорганизации, приведена на рисунке 1. В представленном алгоритме (рисунок 1) в качестве инструмента оптимизации используются два вида итеративных алгоритмов:

алгоритм адаптации, в котором достижение экстремума целевой функции (приращение боевых возможностей группировки войск за счет механизма перераспределения ресурса на каждом этапе) остается во времени постоянным;

алгоритм эволюции, при котором движение ударной и обеспечивающей систем из начального состояния в конечное состояние представляет собой многоэтапный процесс.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

$W^{Гр}$  – боевые возможности группировки войск (эффективность) на начало процесса оптимизации ресурсов;

$C_{выд}(C_{выд} = C^{УС} + C^{ОС})$  – выделенные ресурсы на ударную и обеспечивающую системы;

$n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) – этапы оптимизации ресурсов;

$W_{пред}^{Гр}$  – боевые возможности группировки в конце процесса оптимизации;  
 $\Delta C_n$  – доля («квант») перераспределяемого ресурса на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;  
 $\Delta W_n^{Гр}$  – приращение боевых возможностей группировки войск на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;  
 $УВ_n^1(\Delta C_n)$  – управляющие воздействия, направленные на обоснование и формирование единичной доли перераспределяемого ресурса («квант управляющего воздействия») на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;  
 $УВ_n^2$  – управляющие воздействия, направленные на парирование негативных последствий снижения объема ресурсов (на величину  $\Delta C_n$ ) на ударную систему на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;  
 $УВ_n^3$  – управляющие воздействия, направленные на определение оптимального состава и структуры обеспечивающей системы за счет использования приращения ресурсов на величину  $\Delta C_n$  и, как следствие, увеличения доли ее «вклада» ( $\Delta W_n^{OC}$ ) в ударную систему на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов.

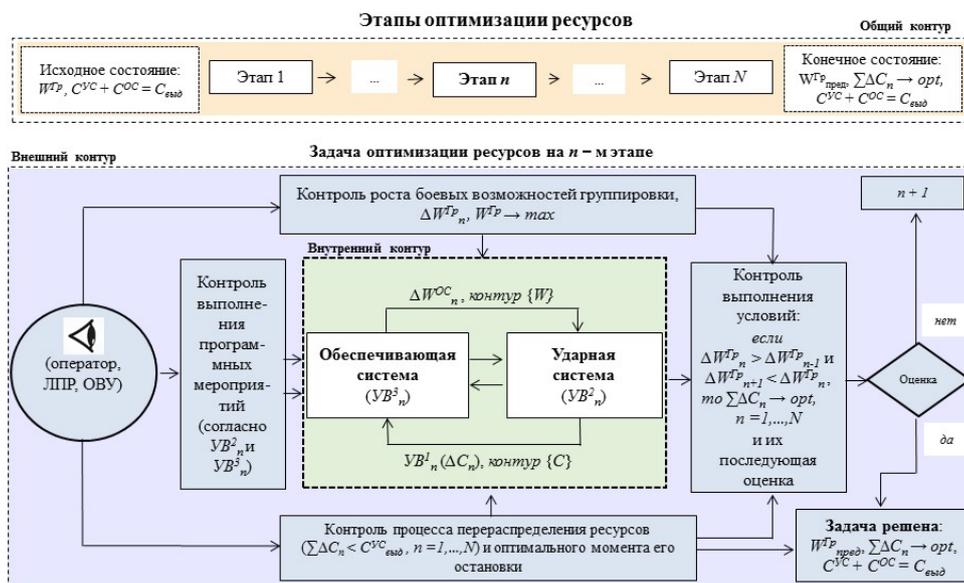


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма интерактивной модели

Следует отметить, что обоснование рационального состава программных мероприятий по ударным и обеспечивающим системам (в рамках управляющих воздействий  $УВ_n^2$  и  $УВ_n^3$ ) может осуществляться либо после каждого единичного акта перераспределения ресурсов, либо по завершению этого процесса, что определяется наличием и разработанностью соответствующей научно-методической базы.

Очень важным моментом в предлагаемой интерактивной модели является обоснование единичной доли перераспределяемого ресурса («квант управляющего воздействия») на каждом этапе оптимизации ресурсов. В этой связи важнейшее значение имеет определение значения  $\Delta C_n$ . Требования к определению  $\Delta C_n$  в предлагаемой интерактивной модели сформулированы в экономическом и военном аспекте и заключаются в следующем. При поэтапном перераспределении ресурсов между ударной и обеспечивающей системами группировки войск (рисунок 2) важно «не пройти» точку (область), в которой эффективность группировки войск достигает своего предельного максимального значения –  $W_{пред}^{Гр}$ . В данной точке объем перераспределяемого ресурса достигает своего оптимального значения. В противном случае, то есть при дальнейшем наращивании перераспределяемого ресурса, неизбежно возникает ситуация, когда возможности по самоорганизации ударной системы будут исчерпаны.

В этом случае, как показывают результаты предварительных расчетов, эффективность группировки войск начинает убывать, даже несмотря на дальнейший рост «вклада»

обеспечивающей системы в ударную систему. В этой связи существенным становится обоснование минимального значения величины  $\Delta C_n$ , что обеспечит определение оптимального значения суммарного перераспределяемого ресурса  $\sum \Delta C_n \rightarrow opt, n = 1, \dots, N$  при условии  $\sum \Delta C_n < C_{\text{выд}}^{\text{УС}}$  и  $C^{\text{УС}} + C^{\text{ОС}} = C_{\text{выд}}$ . Следует отметить, что решение задачи оптимизации ресурсов может осуществляться как для постоянной величины  $\Delta C_n (\Delta C_n = const)$ , так и для переменной величины. Во втором случае для определения величины  $\Delta C_n$  требуются дополнительные обоснования, причем на каждом этапе решения задачи оптимизации ресурсов. В любом случае процесс перераспределения ресурсов будет многоэтапным, и чем больше этапов, тем точнее могут быть установлены искомые, тесно взаимосвязанные, величины, а именно  $W_{\text{пред}}^{\text{Гр}}$  и  $\sum \Delta C_n \rightarrow opt$ .

Кроме того, практический опыт показывает, что успех в повышении боевых возможностей группировки войск будет максимальным, если процесс перераспределения осуществляется в виде серии небольших «шагов - циклов самоорганизации».

Следует также отметить, что в рамках предлагаемой интерактивной модели представляется возможным сформулировать несколько постановок задачи оптимизации ресурсов между ударными и обеспечивающими системами. Приведем в вербальном виде только три формулировки задачи.

1. Обосновать рациональный вариант состава программных мероприятий по совершенствованию обеспечивающей системы с учетом ее «вклада» в ударную систему в интересах максимизации боевых возможностей группировки войск. В этом случае в качестве ограничений принимаются выделенные ресурсы на обеспечивающую систему с учетом перераспределяемого ресурса, т.е.  $C_{\text{выд}}^{\text{ОС}} + (\sum \Delta C_n)_{opt}$ .

2. Обосновать рациональный вариант состава программных мероприятий по парированию негативных последствий снижения объема ресурсов (на величину  $\sum \Delta C_n$ ) на ударную систему.

3. Обосновать оптимальный момент остановки процесса перераспределения ресурсов ( $\sum \Delta C_n \rightarrow opt, n = 1, \dots, N$ ), обеспечивающий выполнение следующих условий:  $\Delta W_n^{\text{Гр}} > \Delta W_{n-1}^{\text{Гр}}$  и  $\Delta W_{n+1}^{\text{Гр}} < \Delta W_n^{\text{Гр}}$ .

В принципе, могут быть сформулированы и другие постановки задачи оптимизации ресурсов на повышение боевых возможностей группировки войск.

Таким образом, на рисунке 1 отображены три контура эвристической самоорганизации, в том числе: контур типового цикла самоорганизации (внутренний контур); контур контроля выполнения каждого цикла самоорганизации (внешний контур); общий контур самоорганизации, представляющий собой многоэтапный циклический процесс эвристической самоорганизации, направленный на повышение боевых возможностей группировки войск.

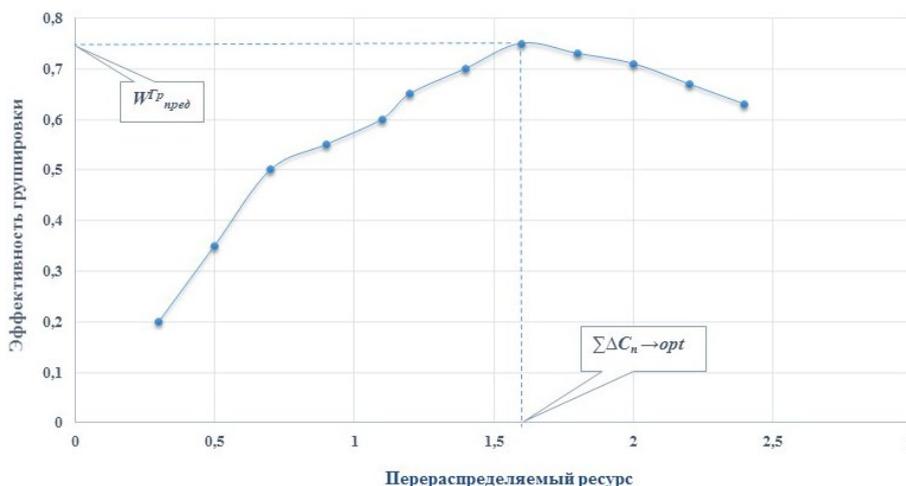


Рисунок 2 – Поэтапное перераспределение ресурсов между ударной и обеспечивающей системами группировки войск (пример)

В целом, предлагаемая интерактивная модель основана на человеко-машинном взаимодействии оператора (лица, принимающего решения, ОВУ) и программно-алгоритмического комплекса (технологическая система), предназначена для оперативного повышения боевых возможностей группировки войск на основе решения задачи перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами. В этом смысле предложенная интерактивная модель представляет собой один из возможных вариантов реализации концепции «слабого искусственного интеллекта», отмеченной в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта, а также перспективное направление дальнейших исследований по внедрению технологий искусственного интеллекта.

#### *Аксиоматическое описание интерактивной модели*

Под аксиоматическим описанием интерактивной модели понимаются утверждения, принимаемые без формального доказательства, но в целом основанные на теории, методологии и практике обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения [4], включая средства обеспечения общего назначения.

При этом речь не идет о строгих законах в техническом или математическом смысле, а о совокупности научных постулатов, которые в интегральном виде отображают многоэтапную, многоконтурную, циклическую модель механизма поэтапного перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами.

Именно такое отображение многоэтапного многоконтурного циклического процесса оптимизации ресурсов, базирующегося на принципах эвристической самоорганизации, в виде аксиоматических научных постулатов является первым шагом на пути к разработке строго формализованной интерактивной модели оптимизации ресурсов на повышение боевых возможностей группировки войск.

На основе вышеизложенного сформулировано 6 аксиоматических научных постулатов.

1. Поэтапное повышение боевых возможностей группировки войск осуществляется в контурах эвристической самоорганизации, в том числе: контуре типового цикла самоорганизации; контуре контроля выполнения каждого цикла самоорганизации и общего контура многоэтапного процесса эвристической самоорганизации, направленного на повышение боевых возможностей группировки войск.

2. Содержание основных элементов внутреннего, внешнего и общего контуров эвристической самоорганизации является идентичным или аналогичным.

3. В контуре контроля выполнения циклов самоорганизации (внешний контур) целесообразно выделить следующие фазы:

фазу контроля перераспределяемого ресурса, согласно условию  $\sum \Delta C_n < C_{\text{выд}}^{\text{yc}}, n = 1, \dots, N$ ;

фазу контроля выполнения программных мероприятий, направленных на парирование негативных последствий снижения объема ресурсов (на величину  $\Delta C_n$ ) ударной системы на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;

фазу контроля выполнения программных мероприятий, направленных на определение оптимального состава и структуры обеспечивающей системы за счет использования приращения ресурсов на величину  $\Delta C_n$  и, как следствие, увеличения доли ее «вклада» ( $\Delta W_n^{\text{OC}}$ ) в реализацию боевых возможностей ударной системы на  $n$ -м этапе оптимизации ресурсов;

фазу контроля роста боевых возможностей группировки войск на каждом этапе оптимизации ( $\Delta W_n^{\text{Гр}}$ ) для достижения предельного максимального значения ( $W^{\text{Гр}} \rightarrow \max$ ); фазу контроля выполнения следующих условий (если  $\Delta W_{n-1}^{\text{Гр}} < \Delta W_n^{\text{Гр}} < \Delta W_{n+1}^{\text{Гр}}$ , то  $\sum \Delta C_n \rightarrow \text{opt}, n = 1, \dots, N$ ) с последующей их оценкой: если условия не выполняются, то осуществляется переход к следующему этапу ( $n = n + 1$ ) решения задачи оптимизации ресурсов; в противном случае – формулируются результаты оптимизации:  $W_{\text{пред}}^{\text{Гр}}, \sum \Delta C_n \rightarrow \text{opt}$ , при  $C^{\text{yc}} + C^{\text{OC}} = C_{\text{выд}}$ .

4. Любой элемент внутреннего, внешнего и общего контуров эвристической самоорганизации, в свою очередь, может быть декомпозирован (детализирован) на более мелкие элементы (масштабируемость контура). Например, во внутреннем контуре можно выделить отдельные элементы ударной и обеспечивающей систем, например, в соответствии с их классификацией по функциональным и конструктивным признакам [4].

5. Направления (пути) повышения эффективности использования интерактивной модели в контурах эвристической самоорганизации:  
сокращение времени решения задачи оптимизации (повышение оперативности);  
повышение обоснованности принимаемых решений;  
снижение затрат на решение задачи оптимизации в контурах эвристической самоорганизации интерактивной модели.

6. Повышение оперативности решения задачи оптимизации ресурсов на повышение боевых возможностей группировки войск – главный путь получения конкурентных преимуществ предлагаемой интерактивной модели.

Сформированная совокупность аксиоматических научных постулатов носит открытый характер: в дальнейшем она может быть дополнена или сокращена путем отклонения некоторых постулатов в зависимости от конкретизации сферы рассматриваемых элементов интерактивной модели и видов ударной и обеспечивающей систем.

Предложенная интерактивная модель оптимизации ресурсов на повышение боевых возможностей группировки войск представляет удобный инструмент для анализа, моделирования и разработки конкретных симметричных и асимметричных действий в развитии технологий ударных и обеспечивающих систем. Визуальные образы универсальных контуров эвристической самоорганизации для решения задачи оптимизации ресурсов между ударными и обеспечивающими системами обеспечивают простоту и единство восприятия количественно-качественных оценок и предложений различных специалистов.

Приведем практический пример решения задачи оптимизации расходов на ударную и обеспечивающую системы в интересах повышения боевых возможностей группировки войск на этапах программно-целевого планирования с использованием предложенной интерактивной модели.

### **3. Практический пример использования интерактивной модели**

В качестве ударной и обеспечивающей систем рассмотрим систему вооружения наземных сил общего назначения (НСОН) и систему средств обеспечения общего назначения (СООН). В настоящее время одним из основных проблемных вопросов в развитии сухопутной составляющей сил общего назначения является недостаточная сбалансированность между ударными и обеспечивающими системами, в результате чего не могут быть полностью реализованы боевые возможности средств поражения [9].

Исходными данными для интерактивной модели являются:  
первоначально запланированный комплекс программных мероприятий по совершенствованию ударной и обеспечивающей систем;  
запланированные расходы на проведение комплекса программных мероприятий;  
показатели эффективности ударной и обеспечивающей систем, полученные в предыдущем программном периоде;  
время – программный период (10 лет).

Выходные результаты:  
предельно допустимый объем перераспределяемого ресурса путем «квантования»;  
предельно возможное повышение боевых возможностей группировки войск;  
комплекс программных мероприятий по совершенствованию обеспечивающей системы с учетом дополнительного ресурса, направленного на повышение ее эффективности и увеличения «вклада» в ударную систему (в данном примере не показаны);  
состав и объем программных мероприятий, направленных на парирование негативных последствий снижения объема ресурсов на ударную систему, которые будут перераспределены в пользу обеспечивающей системы (в данном примере не показаны).

Блок-схема расчета показателя эффективности группировки войск с использованием разработанной интерактивной модели представлена на рисунке 3.

В качестве основного показателя для оценки эффективности группировки войск использован боевой потенциал, порядок расчета которого определен в методике, утвержденной Начальником Генерального штаба Вооруженных Сил РФ.

Приведем основное содержание показанных на рисунке 3 блоков.

Первый блок – определение показателя эффективности группировки войск на конец программного периода традиционным путем. В этом случае предусматривается решение следующих задач:

формирование вариантов развития ударной и обеспечивающей систем с использованием существующего научно-методического аппарата;

определение показателей эффективности систем на конец программного периода;

определение общего объема ассигнований, выделенных на развитие группировки войск в программном периоде;

нормирование показателей эффективности систем для приведения их к более удобным для расчета безразмерным «условным» величинам;

расчет показателя эффективности  $W^{Гр}$  группировки войск на конец программного периода.

Второй блок – определение показателя эффективности группировки войск на конец программного периода на основе использования интерактивной модели. В данном блоке определяется показатель эффективности  $W_{пред}^{Гр}$  группировки войск.

Третий блок – сравнительная оценка показателей эффективности группировки войск на конец программного периода, рассчитанных традиционным путем и с использованием интерактивной модели. Выработка предложений в ОВУ (ЛПР).

Результаты расчетов, полученные в блоках 1) и 2), приведены в таблицах 1 и 2, а графически проиллюстрированы на рисунках 4 и 5 (все расчетные величины приведены в условных единицах).

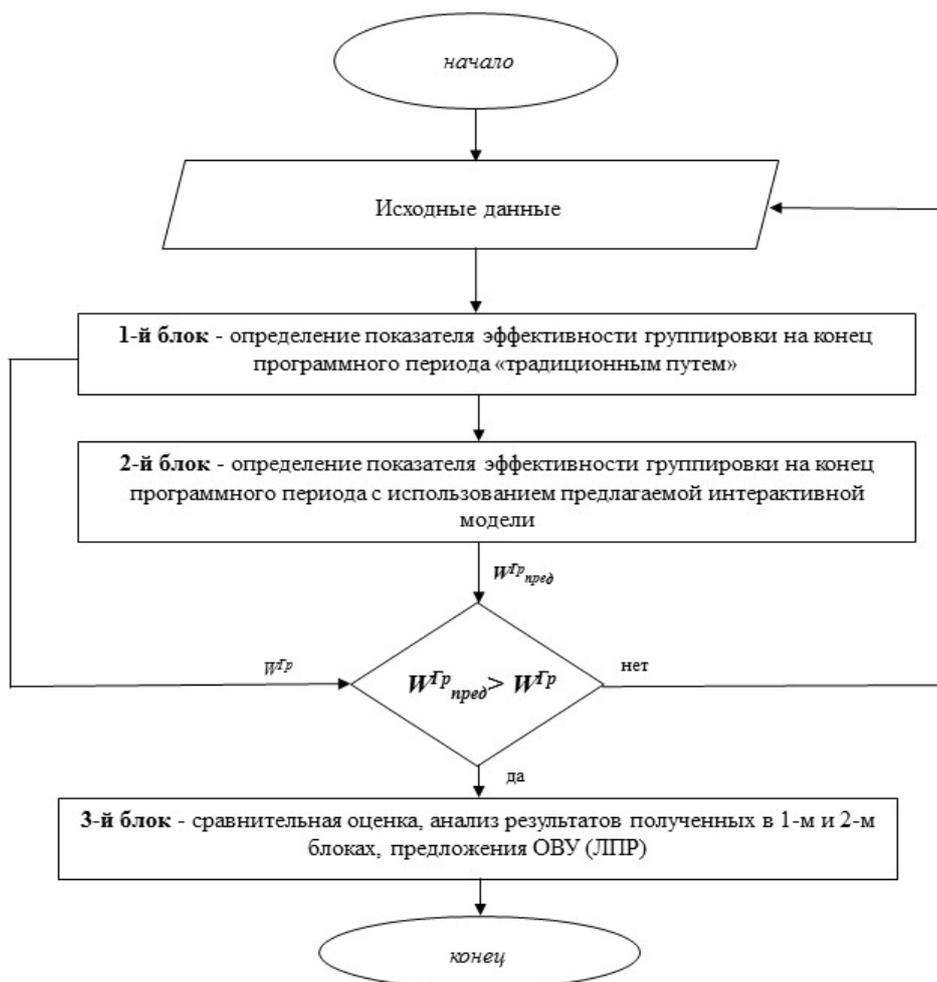


Рисунок 3 – Блок-схема расчета показателя эффективности группировки войск

Таблица 1 – Распределение ресурсов по годам программного периода

Год программного периода	$C_{\text{выд}}^{\text{OC}}$	$C_{\text{выд}}^{\text{УС}}$	$W_{\text{Гр}}$
1	104,98	314,52	0,239
2	121,56	322,94	0,249
3	122,80	327,10	0,259
4	136,94	330,56	0,269
5	143,00	336,20	0,279
6	156,67	343,23	0,289
7	162,33	349,57	0,299
8	170,72	377,98	0,309
9	177,61	387,49	0,320
10	184,48	403,72	0,330

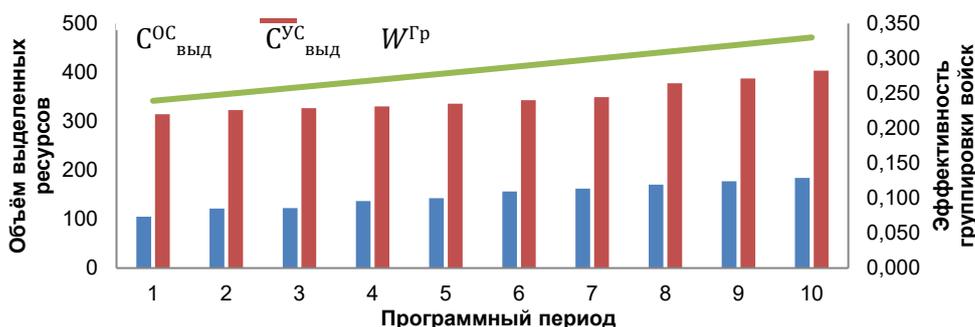


Рисунок 4 – Динамика приращения эффективности группировки (традиционным путем)

Таблица 2 – Распределение ресурсов по годам программного периода на основе использования интерактивной модели

Год программного периода	$C_{\text{выд}}^{\text{OC}}$	$C_{\text{выд}}^{\text{УС}}$	$W_{\text{пред}}^{\text{Гр}}$
1	155,81	263,69	0,304
2	181,75	262,75	0,308
3	183,67	266,23	0,321
4	206,36	261,14	0,325
5	213,33	265,87	0,333
6	232,14	267,76	0,338
7	242,83	269,07	0,348
8	263,81	284,89	0,365
9	272,24	292,86	0,375
10	281,73	306,47	0,387

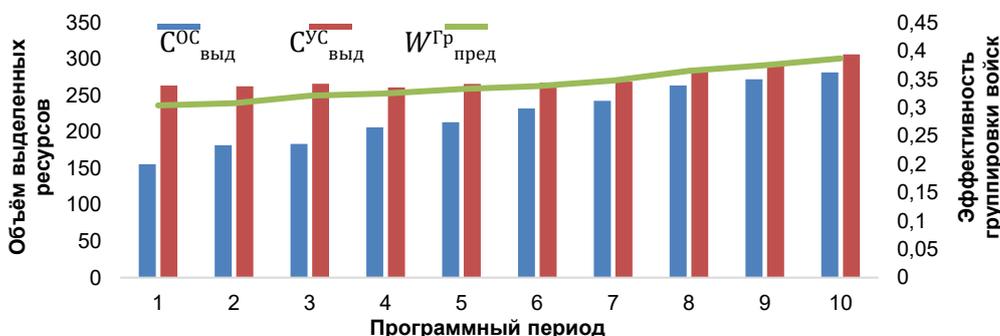


Рисунок 5 – Динамика приращения эффективности группировки на основе использования интерактивной модели

Следует отметить, что на рисунке 5 показаны результаты только финального этапа перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами, для которого достигается приращение эффективности группировки в каждом году программного периода. Для финального этапа перераспределения ресурсов оценки СОС и СУС оказались сопоставимы, особенно к концу программного периода. В то же время результаты расчетов показали, что на предыдущих этапах перераспределения ресурсов различие между СОС и СУС было более значительным. В этой связи возникает актуальная задача обоснования оптимального момента остановки процесса перераспределения ресурсов. На рисунке 1 возможность остановки процесса перераспределения ресурсов предусмотрена в отдельном блоке контроля. Кроме того, с целью достижения сбалансированного развития обеспечивающей системы (в данном примере – системы СООН) возможно дальнейшее перераспределение ресурсов в рамках обеспечивающей системы (по подсистемам и элементам СООН) по годам программного периода.

Таким образом, использование разработанной интерактивной модели позволяет увеличить приращение эффективности группировки к концу программного периода на 10-15%.

Дальнейшее увеличение приращения эффективности группировки войск может быть достигнуто с учетом управляющей системы в интерактивной модели, а также использования принципа реверсивной оценки перераспределения ресурсов (например, от обеспечивающей системы к ударной системе), что является перспективным направлением дальнейших исследований.

## Заключение

1. В теоретическую и принципиальную основу интерактивной модели оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск положены следующие принципы:

принцип «экономного» и «эффективного» перераспределения ресурсов между ударной и обеспечивающей системами, практическая реализация которого может позволить повысить до определенного уровня боевые возможности группировки войск за счет повышения эффективности обеспечивающей системы и ее «вклада» в реализацию боевых возможностей ударной системы;

синергетический принцип, базирующийся на эффекте «резонанса», который в данном случае заключается в «совпадении» (согласовании) внешних воздействий (объема перераспределяемых ресурсов) с внутренними возможностями обеспечивающей системы по совершенствованию своего состава и структуры, в направлении повышения ее эффективности и «вклада» в ударную систему и, в целом, в боевые возможности группировки войск;

принципы и метод эвристической самоорганизации, использование которых позволило представить процесс оптимизации в виде многоэтапного многоконтурного циклического процесса.

Перспективным принципом построения и исследования интерактивной модели является оценка возможности реализации обратного («реверсивного») процесса перераспределения ресурсов: от обеспечивающей системы – к ударной системе (реверсивный принцип).

2. Сформулировано шесть аксиоматических научных постулатов. Данные научные постулаты являются первым шагом на пути к разработке строго формализованной интерактивной модели оптимизации ресурсов на повышение боевых возможностей группировки войск в направлении реализации концепции «слабого искусственного интеллекта», а затем «сильного искусственного интеллекта», отмеченных в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта. Разработанная совокупность аксиоматических постулатов носит открытый характер: в дальнейшем она может быть дополнена или сокращена путем отклонения некоторых постулатов в зависимости от конкретизации сферы рассматриваемых элементов интерактивной модели и конкретных видов ударной и обеспечивающей систем. Предложенная интерактивная модель представляет удобный инструмент для анализа, моделирования и разработки конкретных симметричных и асимметричных действий в развитии технологий ударных и обеспечивающих систем. Визуальные образы универсальных контуров эвристической самоорганизации для решения задачи оптимизации ресурсов

между ударными и обеспечивающими системами обеспечивают простоту и единство восприятия количественно-качественных оценок и предложений различных специалистов.

3. Приведен практический пример решения задачи оптимизации расходов на ударную и обеспечивающую системы в интересах повышения боевых возможностей группировки войск на этапах программного целевого планирования с использованием предложенной интерактивной модели.

#### Список источников

1. Толковый словарь в области военного управления, связи и информационных технологий: военно-теоретический труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: РАРАН, 2017. 232 с.
2. Силаев С.И., Галиев Р.А., Федотова Н.В. Тенденции развития тылового обеспечения вооруженных сил США // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил РФ: сб. науч. трудов. Вып.3(13). СПб.: ВА МТО, 2019. С. 32-44.
3. Война и мир в терминах и определениях / Под общ. ред. Д.О. Рогозина. М.: ПоРог, 2004. 623 с.
4. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010. 368 с.
5. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006. 240 с.
6. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Резонансы в развитии системы вооружения // Вооружение и экономика. 2018. №1(43). С. 25-40.
7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1981. 296 с.
8. Матвиенко Ю.А. К вопросу использования методов эвристической самоорганизации при формировании множества приемлемых вариантов развития АСУ военного назначения // Стратегическая стабильность. 2022. №1(98). С. 38-44.
9. Дульнев П.А. Основные требования к перспективной системе вооружения Сухопутных войск // Вестник Академии военных наук. 2017. №1(58). С.158-161.

#### Информация об авторах

В.Л. Гладышевский – доктор экономических наук, доцент;  
А.В. Леонов – доктор экономических наук, профессор;  
А.Ю. Пронин – кандидат технических наук, доцент.

# ***МЕНЕДЖМЕНТ***

## ***Management***

Научная статья  
УДК 378.091.398

## Обеспечение кадрового суверенитета промышленных предприятий России в современных условиях

Сергей Сергеевич Голубев, Анна Евгеньевна Цивилева

*Аннотация.* В современных условиях, характеризующихся санкционным давлением западных стран и США и проведением специальной военной операции, актуальным становится вопрос обеспечения правового, финансового, технологического и кадрового суверенитетов государства, связанных с обеспечением национальной безопасности России. В статье рассматриваются инструменты обеспечения кадрового суверенитета промышленных предприятия на примере высокотехнологичных предприятий оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации, кадровый потенциал которых характеризуется высокой квалификацией и наиболее подвержен негативному влиянию санкций. В качестве нового подхода к повышению уровня кадрового суверенитета предлагается переподготовка военнослужащих и интеграция участников специальной военной операции в кадровый рынок предприятий оборонно-промышленного комплекса. Описан организационный механизм реализации переподготовки военнослужащих и трудоустройства на промышленных предприятиях. Это позволит решать проблемы кадрового дефицита промышленных предприятий и повысит уровень кадрового суверенитета отрасли.

*Ключевые слова:* кадровый суверенитет; промышленные предприятия; переподготовка кадров; военнослужащие; участники специальной военной операции; инструменты; механизм; дефицит кадров

*Для цитирования:* Голубев С.С., Цивилева А.Е. Обеспечение кадрового суверенитета промышленных предприятий России в современных условиях // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 70-77.

Original article

## On Personnel Sovereignty Ensuring of Russian Industrial Enterprises in Modern Conditions

Sergej S. Golubev, Anna E. Civileva

*Abstract.* In modern conditions that are characterized by the Western countries and the United States sanction pressure and a special military operation executing, the issue of the legal, financial, technological and personnel sovereignties state ensuring becomes relevant, as far as it is related to the national security protection of Russia. The article discusses the tools of industrial enterprises personnel sovereignty ensuring on the example of high-tech enterprises of the Russian military-industrial complex, whose personnel potential is characterized by high qualifications and is the most susceptible to the negative sanctions impact. As a new approach to the level of personnel sovereignty upgrading, it is proposed military personnel retraining and integration of participants in a special military operation into the personnel market of the military-industrial enterprises. The organizational mechanism for the military personnel retraining and industrial enterprises employment implementation is described. This will allow to solve the personnel shortage problems of industrial enterprises, and rise the personnel sovereignty level of the industry.

*Keywords:* personnel sovereignty; industrial enterprises; personnel retraining; military personnel; participants in a special military operation; tools; mechanism; shortage of personnel

*For citation:* Golubev S.S., Tsivileva A.E. On Personnel Sovereignty Ensuring of Russian Industrial Enterprises in Modern Conditions // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 70-77.

В условиях долгосрочного санкционного давления и запрета взаимодействия зарубежных специалистов с российскими предприятиями отмечается дефицит квалифицированных специалистов на высокотехнологичных промышленных предприятиях, особенно на предприятиях оборонно-промышленного комплекса России.

Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) Российской Федерации обеспечивает национальную безопасность государства, а также решает оборонные и социально-экономические проблемы страны. Он всегда был и остается наиболее высокотехнологичным сегментом экономики, занимая ведущее место в реальном секторе. Уровень и состояние оборонных отраслей промышленности определяется их техническим перевооружением и технологическим прогрессом.

В сводный реестр организаций ОПК входит значительное число научно-исследовательских, испытательных организаций и производственных предприятий, обеспечивающих выполнение государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа (ГОЗ), а также выпуск высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения и продукции, поставляемой в рамках военно-технического сотрудничества России с иностранными государствами.

Учитывая высокотехнологичность современных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), их быстрое обновление и постоянную оперативную модернизацию, поддержание их требуемого уровня исправности и надежности, а также снижения затрат на их эксплуатацию требует привлечения высококвалифицированных специалистов.

Вопросам развития кадрового потенциала страны в различное время уделялось пристальное внимание. Так в 2000-х гг. для восстановления оборонного потенциала государства были осуществлены соответствующие меры на высшем уровне федеральной власти по развитию кадрового потенциала ОПК, наращивания его интеллектуального потенциала и развития в соответствии с требованиями научно-технологического прогресса. В настоящее время вопросы кадрового развития решаются медленно, что не способствует обеспечению кадрового суверенитета государства, организаций ОПК [1; 2].

В результате сегодня ряд приоритетных отраслей страны испытывают острый дефицит в кадрах. Отмечается нехватка квалифицированных кадров по новым технологическим направлениям и управленческих кадров, что говорит об актуальности укрепления кадрового суверенитета государства [3].

Президент РФ В.Путин еще в 2019 году отмечал, что общий дефицит специалистов в стране составляет 723 тыс. человек. К 2030 году прогноз говорил о масштабе дефицита кадров 3 млн специалистов<sup>1</sup>.

За последние годы в организациях ОПК дефицит инженерных кадров высокой квалификации и работников рабочих профессий значительно снизился, «происходит постепенное омоложение кадров. Средний возраст работников в ОПК составляет 45 лет, а доля работников моложе 35 лет превышает 30%»<sup>2</sup>.

Вместе с тем в настоящее время имеются две наиболее значимые кадровые проблемы: сохранение и восстановление кадрового потенциала и диспропорции между потребностью интенсивного развития отраслей народного хозяйства и способностью существующей системы образования обеспечивать эти процессы кадрами требуемой квалификации.

В связи со сложной геополитической обстановкой управление кадровыми резервами в сфере ОПК становится актуальной задачей. Поэтому необходим поиск инструментов развития кадрового потенциала ОПК и выработка единых подходов к решению стратегически важных задач.

В качестве нового подхода к решению проблемы кадрового дефицита как со стороны работодателя, так и со стороны государства может быть переподготовка военнослужащих и интеграция участников СВО в кадровый рынок ОПК.

Ввиду особой важности отбора, подготовки и продвижения *кадров управления* организаций ОПК в целях обеспечения преемственности эффективной реализации государственной политики в области обороны, безопасности, преодоления санкционного давления и устойчивого инновационного развития организаций ОПК соответствующие мероприятия предусмотрены в Плане мероприятий по реализации Основ государственной политики в

<sup>1</sup> Косякова Н. Кадровый суверенитет России: новые перспективы и вызовы // Аргументы и факты. 2022. №52. С. 15.

<sup>2</sup> Стратегия развития системы многоуровневого образования в оборонно-промышленном комплексе на период до 2025 года и дальнейшую перспективу // Федеральный кадровый центр ОПК. [https://fkc-opk.ru/content/docs.pdf/Стратегия\\_развития\\_системы\\_многоуровневого\\_образования\\_до\\_2025\\_года.pdf](https://fkc-opk.ru/content/docs.pdf/Стратегия_развития_системы_многоуровневого_образования_до_2025_года.pdf)

области развития ОПК<sup>3</sup> и Стратегии развития системы многоуровневого образования в ОПК на период до 2025 года и дальнейшую перспективу<sup>4</sup>.

Вместе с тем современная экономическая и политическая ситуация, связанная с проведением специальной военной операции на Украине, и беспрецедентное санкционное давление требуют принятия дополнительных мер, направленных на обеспечение кадрового суверенитета и развитие кадрового потенциала организаций ОПК.

Таким образом, *актуальность* настоящего исследования обусловлена необходимостью:

1) удовлетворения увеличивающейся потребности организаций ОПК в квалифицированных кадрах управления, способных обеспечивать принятие и реализацию управленческих решений, направленных на безусловное выполнение стоящих перед ОПК государственных задач;

2) совершенствования существующих подходов к отбору, подготовке и продвижению кадров управления в направлении комплексного учета интересов всех уровней управления развитием ОПК и новых вызовов, стоящих перед ОПК, связанных со складывающейся политической и экономической ситуацией, которая требует в том числе пересмотра требований к профессиональным качествам, предъявляемым к современным руководителям в ОПК, и методам их оценки;

3) обеспечения в условиях дальнейшего экономического и политического давления со стороны иностранных государств, входящих в НАТО и Европейский союз, устойчивого и безопасного функционирования организаций ОПК.

Целью данного исследования является поиск практических рекомендаций по совершенствованию организационно-экономического механизма отбора, подготовки и продвижения кадров управления в ОПК в целях удовлетворения потребности организаций в квалифицированных руководящих кадрах с учетом возможностей переподготовки военнослужащих и интеграции участников СВО в кадровый рынок ОПК. При этом необходимо учитывать современные требования к руководителям, обусловленные необходимостью обеспечения технологической трансформации ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления, в целях удовлетворения потребности организаций в патриотичных и квалифицированных руководящих кадрах, готовых к принятию и обеспечению реализации эффективных управленческих решений по безусловному выполнению заданий ГОЗ, мероприятий по обеспечению импортнезависимости и диверсификации в организациях ОПК и вносящих существенный вклад в экономику и управление ОПК России.

Задачей исследования явился поиск инструментов и лучших практик интеграции участников СВО в кадровый резерв ОПК, выработка рекомендаций по изменению корпоративного управления предприятий ОПК с целью обеспечения устойчивого развития и постоянства кадрового резерва предприятий ОПК, а также усиления взаимодействия ключевых участников этого процесса: предприятий ОПК, федеральных и региональных органов государственной власти и поставщиков решений в области человеческого капитала – лидеров рынка HR-услуг в сфере управления персоналом и учебных заведений различного профиля и уровней.

Научная новизна проведенного исследования заключается в разработке научно-методического аппарата по совершенствованию организационно-экономического механизма отбора, подготовки и продвижения кадров управления в ОПК, отличающегося учетом современных требований к руководителям, обусловленных необходимостью обеспечения технологической трансформации ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления, возможностью привлечения в приоритетном порядке военнослужащих и участников СВО в кадровый рынок.

<sup>3</sup> Постановление Правительства РФ от 16 мая 2016 г. №425-8 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие оборонно-промышленного комплекса».

<sup>4</sup> Стратегия развития системы многоуровневого образования... *Указ. соч.*

В современной трактовке кадровый резерв рассматривается как группа мотивированных работников, прошедших процедуру отбора в соответствии с применяемой методикой, специально подготовленных для эффективного выполнения должностных обязанностей на новой должности и выразивших готовность на свое назначение на вышестоящую должность. Новацией данного определения является рассмотрение кадрового резерва в качестве результата реализации комплекса мероприятий по отбору и подготовке наиболее перспективных кадров и учет фактора наличия патриотизма и мотивации у участников кадрового резерва к своему карьерному росту.

Концептуальный подход к обеспечению кадрового суверенитета основывается на концепции индивидуальной социальной адаптации, обучения и карьерного развития граждан, уволенных с военной службы, и участников СВО, а также основных принципах подготовки и продвижения кадров управления в ОПК. Они сформированы на основании системного анализа применяемых в ОПК организационно-методических подходов к подготовке кадров и формированию резервов кадров управления, применяемых в ОПК.

Профессиональная подготовка увольняемых военнослужащих и участников СВО по гражданским специальностям является одной из приоритетных задач Минобороны России. Она проводится при содействии благотворительных организаций.

Распоряжением Правительства РФ от 6 мая 2023 г. №1168-р «Об утверждении устава Государственного фонда поддержки участников специальной военной операции «Защитники Отечества» определено оказание помощи в получении образования, дополнительного профессионального образования, профессиональной подготовки и переподготовки, трудоустройстве занятости ветеранам боевых действий, принимавших участие в СВО и уволенных с военной службы. Они доказали свою преданность государству и по праву должны выдвигаться на руководящие должности в приоритетном порядке, в том числе предприятий ОПК, с учетом особых условий. Военнослужащие и участники СВО лучше других знают особенности эксплуатации производимых предприятиями ОПК изделий, поэтому их вклад в производство этих изделий будет наиболее ценен. При этом будет развиваться кадровый суверенитет отрасли за счет привлечения этих кадровых работников на предприятия ОПК.

Перспективная система профессиональной подготовки граждан, увольняющихся с военной службы, должна включать в себя прохождение профессионального тестирования, передачу рапорта с указанием предпочтительной гражданской профессии, перечень вузов и специальностей по итогам тестирования и под запрос абитуриента, согласование набора на образовательные программы МБА, ЕМБА, формирование управленческого кадрового резерва, трудоустройство и развитие карьеры (рисунок 1).

Военнослужащие и участники СВО должны получать знания и умения, которые соответствуют современным требованиям к уровню подготовки специалистов.

Формирование руководящего резерва предприятий ОПК должно формироваться на основе следующих принципов.

*Принцип системности.* Формирование и развитие управленческих кадровых резервов в ОПК осуществляется на системной основе и представляет собой многоуровневую систему отбора, где с увеличением уровня повышаются требования к кандидатам для включения в указанные резервы и одновременно расширяются возможности для назначения на руководящие должности у участников таких резервов.

*Принцип развития.* Участники резерва кадров управления проходят специализированную программу подготовки по развитию комплекса необходимых на руководящих должностях знаний, навыков и компетенций.

*Принцип непрерывности.* Подготовка резерва кадров управления осуществляется регулярно исходя из длительности жизненного цикла соответствующего комплекса знаний, навыков и компетенций и выступает обособленным элементом повышения квалификации работников организаций ОПК.

*Принцип приоритетного назначения.* При подборе кандидатов на назначение на руководящие должности военнослужащие и участники СВО рассматриваются в приоритетном порядке.

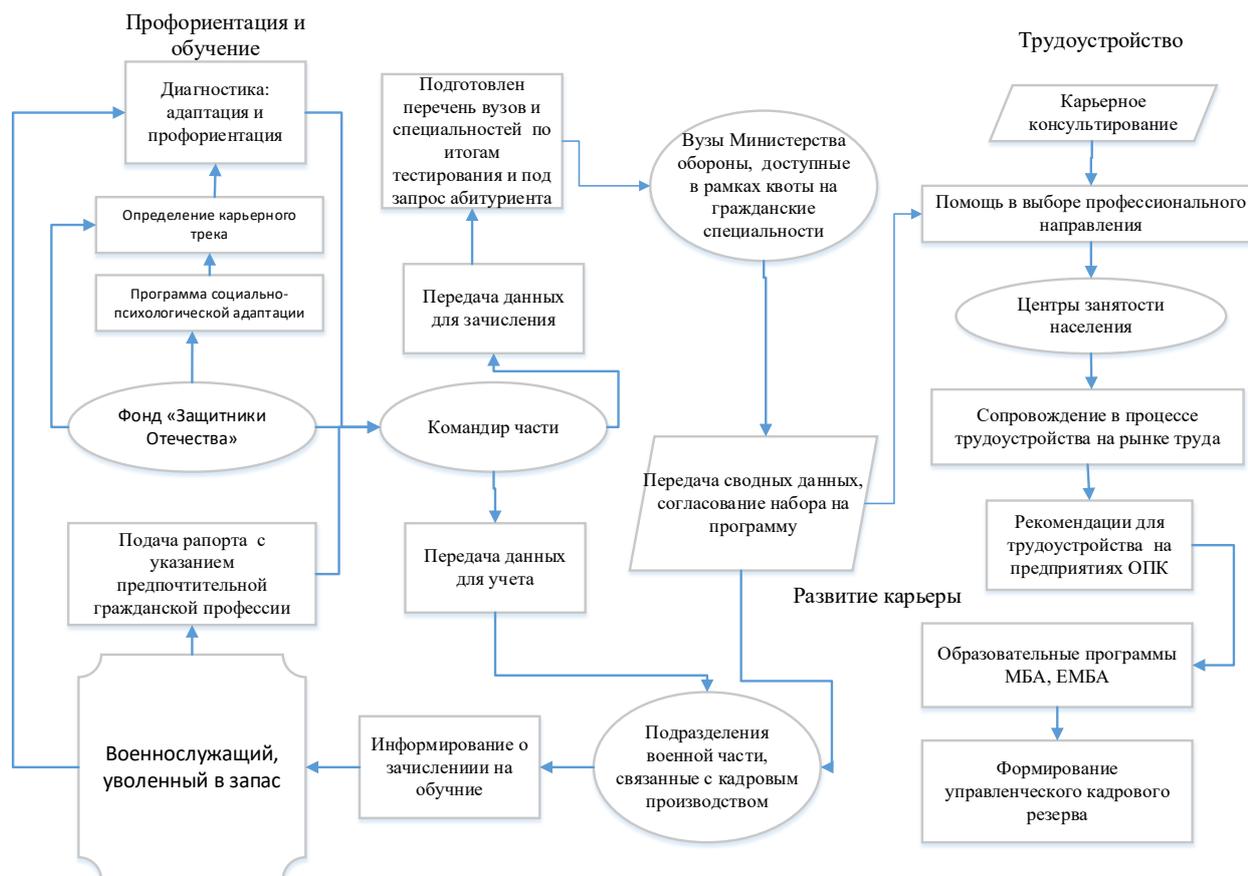


Рисунок 1 – Перспективная система профессиональной переподготовки граждан, увольняющихся с военной службы

Определенные в процессе исследования новые принципы учитывают статус подготовки кадров управления в ОПК как многоуровневой системы отбора соответствующих кандидатов, непрерывной подготовки таких кадров и их приоритетного назначения на руководящие должности в государственные корпорации, интегрированные структуры и организации ОПК.

Научно-методический аппарат отбора, подготовки и продвижения кадров управления в ОПК разработан на основе системного анализа исходных данных о реализации применяемых в ОПК инструментов по работе с руководящими кадрами ОПК, учитывающий современные требования к руководителям, обусловленные необходимостью безусловного выполнения заданий ГОЗ и обеспечения технологической трансформации ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления, и приоритетность назначения на руководящие должности участников СВО.

Он включает в себя предложения в порядок отбора, подготовки и назначения наиболее квалифицированных кадров на руководящие должности в ОПК на федеральном уровне (федеральный кадровый резерв руководящего состава ОПК (ФКР ОПК), являющимся высшим уровнем многоуровневой системы формирования управленческих кадровых резервов ОПК (рисунок 2) [4].

Указанные предложения зафиксированы в Единых методических материалах по формированию и развитию федерального кадрового резерва руководящего состава ОПК (ФКР ОПК), утвержденных соответствующими решением коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.

Новизна разработанного порядка отбора, подготовки и назначения наиболее квалифицированных кадров на руководящие должности в ОПК заключается в том, что отбор кандидатов в ФКР ОПК на системном уровне осуществляется из числа участников кадровых резервов нижестоящих уровней, военнослужащих и участников СВО, софинансирование соответствующих мероприятий осуществляется за счет средств федерального бюджета и фонда «Защитники Отечества».



Рисунок 2 – Порядок формирования и развития федерального кадрового резерва руководящего состава ОПК (ФКР ОПК)

Это фактически делает ФКР ОПК мерой государственной поддержки, дополняющей соответствующие корпоративные программы государственных корпораций, интегрированных структур и организаций ОПК и позволяет более эффективно использовать финансовые ресурсы, направляемые на подготовку руководящих кадров ОПК.

Для решения стоящих перед ОПК масштабных задач необходимы руководители:

умеющие организовывать работу подчиненных сотрудников и взаимодействие структурных подразделений организации и оперативно принимать меры по минимизации последствий, связанных с изменяющимися условиями деятельности;

обладающие знаниями в области формирования и реализации ГОЗ, государственной политики в области развития ОПК, достижений отечественной и зарубежной науки и техники, относящихся к установленной сфере деятельности организации;

умеющие принимать управленческие решения, направленные на безусловное выполнение заданий ГОЗ и мероприятий по обеспечению импортонезависимости и диверсификации в организациях ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления;

обладающие высокой квалификацией и профессиональным опытом не менее 5 лет по направлению, связанному с основной производственной деятельностью организации или отрасли;

готовые работать в условиях возможного введения против них и членов их семьи персональных санкций со стороны иностранных государств и международных организаций;

обладающие опытом создания и продвижения на рынок продукции с привлекательными потребительскими свойствами и ценовыми параметрами [5].

В целях безусловного выполнения возложенных на ОПК государственных задач необходимо наличие у руководящего состава в ОПК высокого уровня развития таких компетенций, как стратегическое и проектное мышление, системность в подходах к решению практических задач управления, ответственность и патриотизм, нацеленность на результативность принимаемых решений, а также инновационный подход к стратегическому развитию предприятия (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни развития управленческих компетенций

Наименование компетенции	Уровни развития управленческих компетенций
Стратегическое мышление	1) учёт внешних и внутренних аспектов организации на всех уровнях управления от предприятия, интегрированных структур и до федеральных органов власти
	2) комплексность подхода к поиску механизмов развития организации ОПК
	3) способность к системному анализу рыночной ситуации и постоянная ориентация на экономическую целесообразность принимаемых управленческих решений
	4) владение современными инструментами управления: проектный подход, стратегирование и прогнозирование последствий принимаемых решений, постоянных рисков и выработка мероприятий по их минимизации
Управленческая компетентность	1) ответственность за результаты принимаемых решений, патриотичность
	2) знание практических аспектов принимаемых решений
	3) ответственность за результаты работы своей команды, предприятия
	4) проявление инициативы
	5) стрессоустойчивость
	6) контроль и мониторинг результатов своей деятельности
Лидерство	1) активная мобилизация коллектива на решение проблем
	2) уверенность и коммуникабельность
	3) ориентация деятельности коллектива на достижение стратегических целей организации
	4) способность выстраивания партнерских отношений
Управление результативностью	1) эффективно трансформирует видение и цели компании в задачи для конкретных подразделений и функций
	2) планирует деятельность своей компании в горизонте от 3 до 10 лет
	3) анализирует эффективность производственных подразделений и обеспечивающих функций, портфеля продуктов и портфеля проектов, проводит необходимые корректировки
	4) создает единое информационное поле для всех сотрудников организации
Инновационность	1) поддерживает инновации и изменения
	2) внедряет изменения, исследует новые практики, поддерживает инновации, усовершенствования
	3) оперативно перестраивает работу в изменяющихся условиях
	4) транслирует другим необходимость изменений
	5) предлагает новые идеи и решения по оптимизации
	6) готовит техническое и экономическое обоснование преобразований

Новацией является то, что требования к руководителям в ОПК и перечень компетенций определены с учетом стоящих перед ОПК государственных задач по безусловному выполнению заданий ГОЗ и обеспечения технологической трансформации ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления.

Предлагаемый организационно-экономический механизм направлен на повышение эффективности подготовки руководителей и призван дополнить институт заместительства, так как назначение на целевые должности участников ФКР ОПК, прошедших программу подготовки, осуществляется в тех организациях ОПК, где они уже замещают руководящие должности сопоставимого или более низкого уровня [6].

Эффективным инструментом кадрового развития ОПК могла бы стать формируемая Ассоциация кадрового развития ОПК. Она позволит оперативно и высокоэффективно решать ключевые задачи кадрового обеспечения ОПК в разрезе реалий настоящего времени. Она будет выступать площадкой, объединяющей сообщество заинтересованных и

участвующих в развитии кадрового потенциала ОПК лиц с целью оптимизации и консолидации работы по этому важному направлению. Она нацелена на решение задач корпоративного управления и кадрового развития, детальной и комплексной проработки бизнес-кейсов в сфере кадровой политики, отбора лучших практик и эффективных решений по развитию кадрового потенциала предприятий ОПК, обмена уникальным опытом управления персоналом предприятий ОПК, оптимизации и исключения расходов на уже разработанные и апробированные кадровые практики.

Консолидированная работа ведущих холдингов и их корпоративных университетов позволит объединить усилия по оптимизации процессов обучения и набора требуемых компетенций сотрудников предприятий ОПК, позволит готовить высокоуровневых специалистов не только с экспертным глубинным пониманием проблем конкретного направления, но и имеющих понимание всего сектора в целом, со стратегическим видением его развития [7].

В результате проведенного исследования решена научная задача по разработке научно-методического аппарата по совершенствованию организационно-экономического механизма отбора, подготовки и продвижения кадров управления в ОПК, учитывающего современные требования к руководителям, обусловленные необходимостью обеспечения технологической трансформации ОПК в условиях беспрецедентного санкционного давления, в целях удовлетворения потребности организаций в квалифицированных руководящих кадрах, готовых к принятию и обеспечению реализации эффективных управленческих решений по безусловному выполнению заданий ГОЗ, мероприятий по обеспечению импортнезависимости и диверсификации в организациях ОПК.

#### Список источников

1. Мирошниченко Е.А., Бевза В.О. Инструментарий обеспечения кадрового суверенитета промышленных комплексов экономики в системе их кадрового резерва // Инновационные методы решения социальных, экономических и технологических проблем современного общества: материалы Междунар. науч.-иссл. конф. (Челябинск, 25 ноября 2022 г.). Челябинск: Междунар. инт-дизайна и сервиса, 2022. С. 13-17.
2. Тищенко Е.Б., Бевза В.О. Кадровый суверенитет как цель функционирования системы кадрового резерва // Russian Journal of Management. 2022. Т.10. №4. С. 100-111.
3. Dyundik E., Golubev S., Makhova A., Gurtskoy L. Development of human capital in the military-industrial complex of Russia in the context of digital transformation // E3S Web Conf. 2020. Vol.217. No.06005. DOI:10.1051/e3sconf/202021706005.
4. Mironov A.S., Podgainii P.G. Mechanism for the Formation and Development of Management Personnel Reserves for the Purposes of Ensuring the Innovative Development of the Defense Industrial Complex // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems «Education-Science-Industry» (ISPCR 2021). 2022. Vol.208. DOI:10.2991/aebmr.k.220208.043.
5. Golubev S.S., Mironov A.S., Kosarev A.S. Incentive Mechanism of Economic Protection of Rocket and Space Industry Enterprises from Risks // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Strategy of Development of Regional Ecosystems «Education-Science-Industry» (ISPCR 2021). 2022. Vol.208. DOI:10.2991/aebmr.k.220208.023.
6. Рязанцев О.Н. Обоснование рациональных механизмов парирования угроз для устойчивого функционирования и развития предприятий оборонно-промышленного комплекса в условиях гибридной войны // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2022. №3. С. 5-15.
7. Цивилева А.Е. Концептуальные подходы к стратегическому обеспечению устойчивости работы угледобывающих компаний в современных условиях // Уголь. 2023. №9(1171). С. 27-33.

#### Информация об авторах

С.С. Голубев – доктор экономических наук, профессор;  
А.Е. Цивилева – кандидат экономических наук.

## ***Дополнительные материалы***

## Правила предоставления авторами рукописей

1. Для опубликования в журнале «Вооружение и экономика» (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.

Статья должна соответствовать одной из следующих научных специальностей:

6.2.1. *Вооружение и военная техника;*

6.3.2. *Военная экономика, оборонно-промышленный потенциал;*

5.2.6. *Менеджмент.*

2. Файл статьи и сканы (файлы) прилагаемых документов (материалов) направляются авторами по электронной почте в адрес редакции – [rk@viek.ru](mailto:rk@viek.ru). Одновременно экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригиналы прилагаемых документов и материалов высылаются на почтовый адрес:

129327, г. Москва, Чукотский проезд, д. 10, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России.

В редакцию журнала «Вооружение и экономика»

(не следует указывать в почтовом адресе фамилии получателей – это осложняет получение корреспонденции установленным порядком).

Рассмотрение статьи начинается с момента получения полного комплекта материалов в электронном виде. Принятие окончательного решения об опубликовании возможно не ранее получения редакцией оригиналов сопроводительных документов статьи (см. п.5).

3. Текст статьи должен быть набран на русском языке в файле одного из следующих форматов – docx (предпочтительнее), odt, doc, rtf. Параметры оформления:

- размер листа – А4; ориентация – книжная;
- поля – верхнее и нижнее по 30 мм, левое и правое по 20 мм;
- отступ первой строки абзацев – 1,25 см;
- выравнивание – «по ширине»; интервал – 1,0-1,15 («одинарный» предпочтительнее);
- расстановка переносов – автоматическая или без переноса. Не рекомендуется использовать спецсимволы «мягкого переноса»;
- шрифт – Arial (предпочтительнее), Times New Roman, Helvetica, Pt Sans. Выбранный шрифт, как правило, должен быть единственным в основном тексте статьи, в т.ч. использоваться в заголовках, надписях, текстовых элементах рисунков и схем, ячейках таблиц, за исключением формул и их элементов внутри абзацев, где, как правило, должен использоваться шрифт Cambria Math (только для формул);
- размер шрифта основного текста статьи – 11-12 («11» предпочтительнее);
- для выделения по смыслу текстовых элементов внутри абзацев статьи следует использовать *курсив* (предпочтительно) или *р а з р я д к у* (в исключительных случаях);
- не рекомендуется использовать в основном тексте статьи такие способы форматирования как подчеркивание, **полужирный** шрифт, кернинг (разреженный или уплотненный шрифт). Подстрочные/надстрочные символы не следует применять вне формул;
- списки и разного рода перечни следует оформлять «обычным текстом», при необходимости добавив в начале абзаца порядковый номер или дефис. Например, в файле не рекомендуется использовать «маркированный/нумерованный список» Microsoft Word;
- ссылки на интернет-ресурсы (например, в сносках) следует оформлять «обычным текстом» без возможности непосредственного перехода по ссылке из файла статьи;
- не рекомендуется использовать в файле такие специальные символы как «неразрывный пробел», «неразрывный дефис», «мягкий перенос», вместо «условно длинных/коротких» тире рекомендуется использовать стандартный символ «дефис» («минус»).

Структура файла статьи:

- код научной специальности – указать один из «6.2.1», «6.3.2», «5.2.6»;
- тип статьи – как правило, указать «Научная статья»;
- индекс Универсальной десятичной классификации (УДК);
- имя, отчество, фамилия каждого автора – как правило, не более трёх авторов;
- заглавие (тема) статьи без сокращений/аббревиатур;
- аннотация (резюме) – как правило, не менее 50, не более 250 слов;
- ключевые слова (словосочетания) – не менее 3, не более 15 – должны соответствовать теме статьи и отражать её предметную, терминологическую область без использования обобщённых и многозначных слов, а также словосочетаний с причастными оборотами;
  - заглавие (тема), аннотация, ключевые слова статьи *на английском языке*;
  - благодарности и/или сведения о финансировании (при необходимости!) – благодарности организациям, научным руководителям, другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи; сведения о финансировании подготовки и публикации статьи, грантах, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых подготовлена статья (также *на английском языке*);
    - основной текст статьи – может быть структурирован и состоять из введения, текста статьи (например, с выделением разделов «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение» и др.) и заключения, также допускается деление основного текста статьи на тематические рубрики и подрубрики;
    - перечень затекстовых библиографических ссылок (в т.ч. *на английском языке*) с заголовками «Список источников» и «References» – как правило, не менее пяти источников.

В файле статьи допускается наличие формул, рисунков и таблиц. При их наличии обязательна сквозная нумерация (отдельно формул, отдельно рисунков, отдельно таблиц) и ссылки на них из текста статьи, для формул возможна выборочная нумерация.

Математические формулы, в т.ч. их элементы, должны быть редактируемы и вставлены в файл статьи как «уравнение» (не «рисунок») – Microsoft Word или как «объект MathType» либо как «объект Math» – OpenOffice.org (LibreOffice.org).

Рисунки (иллюстрации, схемы, графики, диаграммы и т.п.) должны быть вставлены в файл статьи отдельными объектами «изображение» (или «рисунок»).

Таблицы должны быть набраны средствами того же текстового редактора, который использовался для набора текста файла статьи. Ячейки таблицы должны быть редактируемы (не должны быть вставлены в текст файла статьи как «рисунок»).

Обозначения математических формул, подписи рисунков, заголовки таблиц, а также сноски и ссылки на литературу оформляются в текстовом виде в соответствии с ГОСТом.

**4.** Статья должна оканчиваться списком источников (как правило, не менее 5 наименований), в котором указываются только авторские научные произведения (опубликованные статьи, монографии, материалы очных конференций, а также патенты), подлежащие включению в систему Российского индекса научного цитирования (более подробную информацию см. <http://www.elibrary.ru>). Объём самоцитирования, если авторы ссылаются на собственные работы, как правило, не должен превышать 20% от общего количества источников в списке.

Список составляется в том порядке, в котором источники упоминаются в тексте статьи, и 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».

Ссылки на другие источники (любые электронные ресурсы, нормативные документы, статистические сборники, учебная литература, любые справочники, авторефераты и диссертации, ненаучные публикации и т.п.) оформляются только в формате подстрочных библиографических ссылок – сносок внизу страницы.

**5.** Среди авторского коллектива определяется ответственное контактное лицо, которое непосредственно будет взаимодействовать с редакцией журнала по всем вопросам опубликования статьи, с чьего личного адреса (как электронного, так и почтового) должны быть отправлены в редакцию журнала следующие материалы:

*на почтовый адрес редакции (либо нарочным) – оригиналы документов:*

- распечатка (рукопись) статьи с личными подписями авторов;
- заключение о возможности открытого опубликования статьи, подготовленное в соответствии с требованиями приложения № 2 к приказу Министра обороны РФ от 5 июня 2015 г. № 320дсп (для авторов-представителей Минобороны России) или в соответствии с требованиями решения Межведомственной комиссии по защите государственной тайны от 30 октября 2014 г. № 293 (для авторов-представителей других ведомств);
- рецензия на статью, подписанная, как правило, доктором наук, подпись которого заверена установленным порядком;

*на электронную почту редакции – файлы:*

- файл статьи, соответствующий п.п.3,4 настоящих Правил;
- файл с карточками авторов (отдельная карточка на каждого автора);
- исходные файлы рисунков, имеющих в тексте статьи;
- файлы фотографий каждого автора 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 (предоставляется по желанию).

### Карточка автора

Имя	
Отчество	
Фамилия	
Ученая степень	
Ученое звание	
Детализация личного вклада автора в написание статьи	
Указание об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализация такого конфликта в случае его наличия	
Основное место работы автора, в т.ч. адрес	
Должность	
Контактный телефон	
Адрес электронной почты	
Год рождения автора	
Год защиты диссертации	
<u>SPIN</u> -код автора	
<u>ORCID</u> -идентификатор автора	
Сведения о членстве и статусе (академик, член-корреспондент, почетные звания, пр.) в научных организациях	
Сведения о членстве в других редколлегиях / редсоветах	
Наличие зарубежных научных званий / степеней	
Дополнительная информация	

### **Особенности распространения журнала**

Доступ ко всем номерам электронного научного журнала «Вооружение и экономика» осуществляется на его сайте (<https://www.viek.ru>), в Российском индексе научного цитирования (<https://www.elibrary.ru>), а также на сайте Минобороны России.

## Порядок рецензирования рукописей

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

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

**3.** В течение десяти рабочих дней с момента получения рукописи и прилагаемых материалов, оформленных в соответствии с требованиями Правил предоставления авторами рукописей, редакция направляет статью на рецензирование одному или нескольким экспертам, указанным в п.2 настоящего Порядка. 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 срок рецензирования работы 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.** Основные положения отрицательной рецензии доводятся авторам рукописи без указания лица, проводившего рецензирование, вместе с решением редакционной коллегии об отклонении статьи, как правило, на указанные в карточках авторов адреса электронной почты. При опубликовании статьи в Журнале редакция вправе указать информацию о лице, давшем на нее положительную рецензию.

**8.** Рецензии представляются редакцией по запросам Минобрнауки России.

**9.** Авторы отклонённой статьи вправе в тридцатидневный срок с момента доведения им основных положений отрицательной рецензии сообщить свои возражения по данному поводу либо уведомить редакцию о намерении переработки отклонённой статьи, что предполагает подготовку нового комплекта материалов, указанных в п.5 Правил предоставления авторами рукописей.

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

## Сведения о членах редакционной коллегии

**АЛЕКСАНДРОВ Анатолий Александрович**

доктор технических наук, профессор

**АЧАСОВ Олег Борисович**

кандидат технических наук, доцент

**БАБЕНКОВ Валерий Иванович**

доктор военных наук, профессор

**БАТЬКОВСКИЙ Александр Михайлович**

доктор экономических наук, старший научный сотрудник

**БОКОВ Сергей Иванович**

доктор экономических наук, профессор

**БРАЙТКРАЙЦ Сергей Гарриевич**

доктор технических наук, старший научный сотрудник

**БУРАВЛЕВ Александр Иванович**

доктор технических наук, профессор

**БУРЕНОК Василий Михайлович**

доктор технических наук, профессор – *главный редактор*

**ВИКУЛОВ Сергей Филиппович**

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

**ГЛАДЫШЕВСКИЙ Владимир Леонидович**

доктор экономических наук, доцент – *заместитель главного редактора*

**ГОРГОЛА Евгений Викторович**

доктор экономических наук, профессор

**ДРОГОВОЗ Павел Анатольевич**

доктор экономических наук, профессор

**ДУРНЕВ Роман Александрович**

доктор технических наук, доцент

**ЛАВРИНОВ Геннадий Алексеевич**

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

**ЛЕОНОВ Александр Васильевич**

доктор экономических наук, профессор

**НАЙДЕНОВ Владимир Герасимович**

доктор технических наук, старший научный сотрудник

**ПОДОЛЬСКИЙ Александр Геннадьевич**

доктор экономических наук, профессор

**СИВКОВ Константин Валентинович**

доктор военных наук, профессор

**ХРУСТАЛЕВ Евгений Юрьевич**

доктор экономических наук, профессор

**ХУДЯКОВ Дмитрий Владимирович**

кандидат экономических наук, доцент – *заместитель главного редактора – ученый секретарь*

**ЦЕЛЫКОВСКИХ Александр Александрович**

доктор военных наук, профессор

**ЧИСТОВ Игорь Вадимович**

доктор экономических наук, профессор

# 2024 №1 (67)

В номере:

46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации

Российская академия ракетных и артиллерийских наук

Академия проблем военной экономики и финансов

Издается с 2008 года

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

Св-во о рег. СМИ от 07.12.2012 г. №ФС77-52083

ISSN 2071-0151

Главный редактор  
Буренок В.М.

Заместители гл. ред.  
Викулов С.Ф.  
Гладышевский В.Л.  
Лавринов Г.А.

Ученый секретарь  
Худяков Д.В.

Редактор  
Молчанова Т.М.

Перевод  
Криворучко О.В.

## ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Буренок В.М.

**Формирование новых взглядов на применение беспилотных летательных аппаратов на основе анализа опыта специальной военной операции**

Мужичек С.М., Скрынников А.А., Маслова Л.А.

**Концепция приемлемого риска потери ударного беспилотного летательного аппарата за счёт поражения его осколками собственных бомб**

Абросимов В.К., Келоглян А.Х.

**Онтология боевых свойств образцов перспективного вооружения**

Чуев В.Ю., Дубограй И.В., Маркелов Е.Б.

**Исследование влияния систем наблюдения за боевыми единицами противника на исход боевой операции**

Бондарчук А.С., Зарубский В.П.

**Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности**

Горский А.С.

**Комбинированный подход к моделированию квантового алгоритма Дойча**

Батыршин Е.М., Вивчарь Р.М., Пачин А.В.

**Концепция управления техническим состоянием оборудования на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта**

## ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Гладышевский В.Л., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В.

**Интерактивная модель оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск**

## МЕНЕДЖМЕНТ

Голубев С.С., Цивилева А.Е.

**Обеспечение кадрового суверенитета промышленных предприятий России в современных условиях**

# Вооружение и экономика