

МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВАРИАНТА ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ СОВРЕМЕННЫМИ ОБРАЗЦАМИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ*

А.В. БОЙКОВА, д-р экон. наук

Тверской государственный технический университет
170026, Тверь, наб. А. Никитина, 22; e-mail: common@tstu.tver.ru

© Бойкова А.В., 2023

Предложена методика технико-экономического обоснования варианта переоснащения частей и подразделений радиотехнических войск воздушно-космических сил РФ с применением искусственной нейронной сети и имитационного моделирования, что позволяет воспроизводить процесс реализации варианта переоснащения современными образцами техники и давать прогноз с учетом стохастичности процессов их функционирования в течение заданного периода времени и с учетом выделенных бюджетных ассигнований.

Ключевые слова: обороноспособность, вооружение и военная техника, переоснащение, прогнозирование, эффективность, нейронные сети, имитационное моделирование, технико-экономический анализ.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-2-113-119

ВВЕДЕНИЕ

Реализация концепции строительства и развития Вооруженных сил РФ требует значительных финансовых затрат в ходе проведения мероприятий по переоснащению частей и подразделений радиотехнических войск воздушно-космических сил РФ (РТВ ВКС). Одним из способов снижения затрат является технико-экономическое обоснование вариантов переоснащения частей и подразделений РТВ ВКС с учетом имеющихся возможностей и ограничений. В статье предложена методика технико-экономического обоснования варианта переоснащения частей и подразделений РТВ ВКС современными образцами вооружения и военной техники.

Процесс переоснащения РТВ ВКС представляет собой комплекс мероприятий по разработке, производству, ремонту и поставке образцов радиотехнических средств (РТС), соответствующих по техническому уровню задачам, возлагаемым на части и подразделения в программном периоде, а также переводу к новому месту эксплуатации, постановке на хранение и утилизации образцов РТС, подлежащих замене [1]. Одним из основных принципов переоснащения организационных единиц является поддержание сбалансированности качественного и количественного состава техники и средств за счет достижения рационального соотношения их номенклатуры, численного состава, темпов развития и сроков замены.

Как показывает международная практика осуществления закупок товаров, работ и услуг для обеспечения государственных нужд, около половины контрактов выполняются с лагом запаздывания и (или) перерасходом средств (корректировкой

* Материалы были представлены на научном семинаре «Золотовские чтения», посвященном 100-летию со дня рождения выдающегося российского математика, академика АН СССР Золотова Евгения Васильевича (6–7 октября 2022 г., Тверь, Тверской государственный технический университет).

исходной цены контракта). Не является исключением и государственный оборонный заказ. Задержки по времени обычно связаны с такими причинами, как ошибки планирования, форс-мажоры, корректировка исходного технического задания, удорожание работ смежников и т. д.

Сущность методики технико-экономического обоснования варианта переоснащения РТВ ВКС заключается в проведении факторного анализа затрат на повышение эффективности РТВ ВКС, корректировке варианта с учетом результатов моделирования, определении коэффициента удорожания варианта и совокупных затрат на повышение эффективности РТВ ВКС в течение заданного времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Информационную базу исследования составили материалы, содержащиеся в научных трудах отечественных [1, 3, 6] и зарубежных [4, 5] авторов. В ходе исследования применялись методы военно-экономического анализа, экспертного оценивания, элементы теории искусственных нейронных сетей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными этапами методики являются:

1. Определение совокупных затрат $Z_{\text{общ}}$ на реализацию варианта переоснащения и затрат на эксплуатацию образцов вооружения РТВ ВКС. Позволяет заблаговременно установить общий объем необходимых ресурсов (люди, оборудование, материалы и т. д.). Так как затраты на реализацию начальных стадий жизненного цикла РТС, в частности на создание научно-технического задела РТС, на формирование концепции образца (аванпроект), на разработку РТС, находятся за рамками данного исследования, совокупные затраты на переоснащение РТВ ВКС $Z_{\text{общ}}$ определим на основе соотношения

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{кз}} + Z_{\text{экс}} + Z_{\text{утл}},$$

где $Z_{\text{кз}}$ – капитальные затраты на закупку образцов РТС в процессе переоснащения РТВ ВКС; $Z_{\text{экс}}$ – затраты на эксплуатацию имеющихся и вновь вводимых образцов РТС; $Z_{\text{утл}}$ – затраты на утилизацию РТС.

Факторы, учитываемые при определении капитальных затрат, представлены на рис. 1. Капитальные затраты на реализацию варианта переоснащения РТВ ВКС определяются по формуле

$$Z_{\text{кз}} = Z_{\text{зак}} + Z_{\text{дст}} + Z_{\text{мтж}},$$

где $Z_{\text{зак}}$ – затраты на закупку РТС; $Z_{\text{дст}}$ – затраты на транспортирование РТС на техническую (стартовую) позицию; $Z_{\text{мтж}}$ – затраты на развертывание и ввод в строй РТС.

Вышеперечисленные затраты относятся к единовременным. В то же время, как показывает практика, до 80 % стоимости полного жизненного цикла приходится на стадию эксплуатации РТС в частях и подразделениях РТВ ВКС (рис. 2).

Эксплуатация вооружения и военной техники специального назначения – это стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество. Эксплуатация изделия в общем случае включает в себя использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт. Данная категория затрат, как правило, приводится в расчете на единицу времени: час, месяц, год [2].

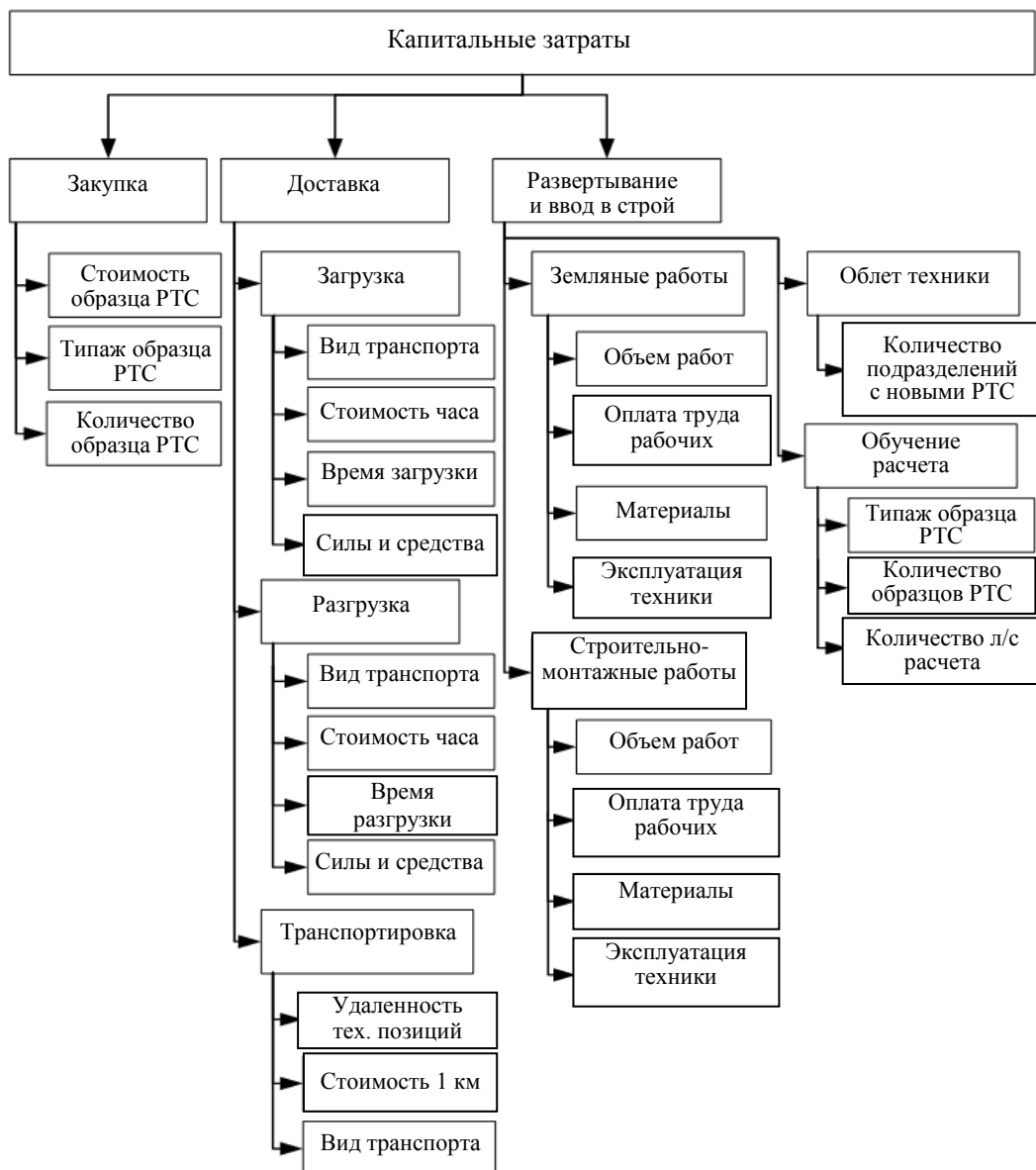


Рис. 1. Факторы, учитываемые при определении капитальных затрат

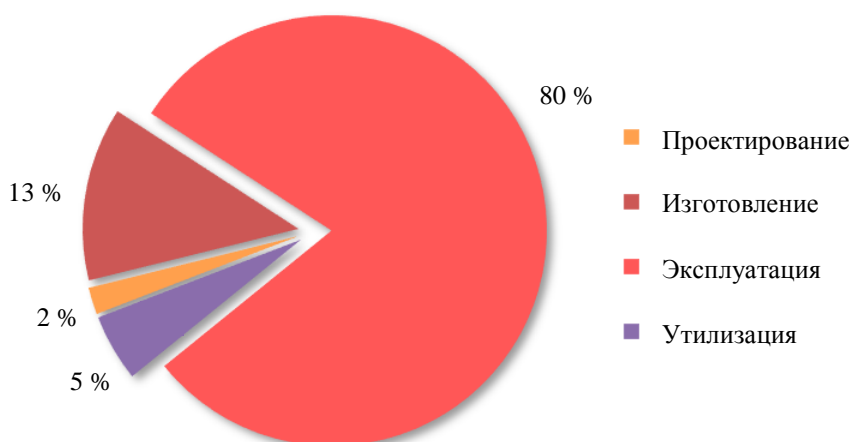


Рис. 2. Соотношение затрат на обеспечение этапов полного жизненного цикла РТС

Совокупные затраты на эксплуатацию РТС в частях и подразделениях РТВ ВКС определяются по формуле

$$Z_{\text{экс}} = Z_{\text{уп}} + Z_{\text{зип}} + Z_{\text{ээ}} + Z_{\text{лс}} + Z_{\text{рм}} + Z_{\text{бг}} + Z_{\text{а}},$$

где $Z_{\text{уп}}$ – затраты на услуги промышленности; $Z_{\text{зип}}$ – затраты на одиночный комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП-О) и групповой (ЗИП-Г); $Z_{\text{ээ}}$ – затраты на электроэнергию; $Z_{\text{лс}}$ – затраты на содержание личного состава боевых расчетов; $Z_{\text{рм}}$ – затраты на расходные материалы; $Z_{\text{бг}}$ – затраты на поддержание РТС в установленной степени готовности к использованию по назначению; $Z_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления.

Определение и учет затрат на эксплуатацию РТС в течение заданного периода времени – это необходимый инструмент при технико-экономическом обосновании варианта переоснащения РТВ ВКС.

Утилизации подлежит военная техника, сокращенная по международным договорам, снятая с вооружения, выработавшая свой ресурс или морально устаревшая. Наиболее характерные виды утилизации: использование в гражданских целях без доработки и раскомплектации (автомобили, инженерная техника и т. д.) или после демонтажа вооружения и соответствующих доработок; переработка в товары бытового потребления.

Затраты на утилизацию $Z_{\text{утл}}$ рассчитываются по формуле

$$Z_{\text{утл}} = Z_{\text{лс}} + Z_{\text{мат}} + Z_{\text{т}},$$

где $Z_{\text{лс}}$ – затраты на персонал, привлекаемый для работ по утилизации объектов военного назначения; $Z_{\text{мат}}$ – затраты на расходные материалы; $Z_{\text{т}}$ – затраты на специальную технику, привлекаемую для работ по утилизации объектов военного назначения.

2. Определение коэффициента удорожания варианта с учетом факторов риска и темпа инфляции R^T .

Коэффициент удорожания R^{ti} определяется на основе кумулятивного метода (с учетом премии за риск) и показывает, насколько увеличится каждый рубль изначальных плановых вложений в течение заданного периода времени. Данный метод расчета широко применяется при оценке эффективности проектов инвестиционного и инновационного характера, когда идентификация рисков связана со статистическими сложностями сбора исходной информации. Математически коэффициент определяется по формуле [3]

$$R^{ti} = 1 + r_0 + r + k_{\text{и}},$$

где r_0 – безрисковая ставка; r – общий уровень премии за риск; $k_{\text{и}}$ – прогнозируемый темп инфляции.

В данной методике все источники риска объединены в один показатель – общий уровень премии за риск, который определяется сложением значений оценок факторов, влияющих на итоговую стоимость реализации варианта переоснащения:

$$r = \sum_{i=1}^I r_i,$$

где r_i – i -й риск при реализации варианта переоснащения; I – разновидность рисков, которые могут возникнуть при реализации варианта.

Формула для r позволяет определить коэффициент удорожания лишь для интервала планирования в один год, ее нельзя применить при определении коэффициента удорожания с большим количеством интервалов. Для учета данного фактора при определении коэффициента удорожания для периода времени, отличного от одного года, целесообразно использовать функцию сложного процента, т. е. неоднократно корректировать затраты, и каждую последующую корректировку производить с учетом ранее полученной суммы. Тогда коэффициент удорожания для заданного периода времени будет определяться по формуле

$$R^T = (R^t)^T = (1 + r_0 + r + k_{и})^T.$$

3. Корректировка варианта с учетом определенных факторов, влияющих на затраты, и результатов моделирования динамики состояния РТВ ВКС с целью повышения эффективности переоснащения РТВ ВКС.

В предлагаемой методике вероятность работоспособности образцов РТС определяется посредством использования искусственной нейронной сети (ИНС) с радиально-базисными элементами. Эта сеть обучается на ретроспективных данных эксплуатационных характеристик образцов РТС и в дальнейшем, на основе имеющихся сведений о параметрах образцов РТС, определяет вероятность их работоспособности на данном шаге моделирования.

Задача, для которой разрабатывается ИНС, формулируется следующим образом. На основе исходных данных по образцам РТС (срока службы, фактической наработки на отказ, места дислокации, данных по проводимым ремонтам и др.) необходимо определить, с какой вероятностью они будут находиться в работоспособном состоянии на очередном шаге моделирования.

Для решения данной задачи наиболее перспективными являются вероятностные нейронные сети, отличающиеся высокой скоростью обучения и универсальными аппроксимирующими возможностями. Вероятностные нейронные сети (Probabilistic Neural Network, PNN) предложены Д.Ф. Шпехтом как совершенствование статистических методов распознавания (идентификации) образов и относятся к нейронным сетям радиально-базисного типа, которые благодаря своим достоинствам используются в различных задачах классификации образов [4].

В вероятностных нейронных сетях образцы классифицируются на основе оценок их сходства с соседними образцами. Формальным правилом при классификации является то, что класс с большей плотностью распределения вероятностей в области неизвестного образца будет иметь преимущество по сравнению с другими классами. Для оценки функции плотности распределения вероятностей используются непараметрические методы оценки. Исследование работ по данному вопросу показало, что, как правило, применяют метод Парцена. В соответствии с ним для каждого учебного образца рассматривается некоторая весовая функция, которая еще имеет название функции потенциала или ядра [5]. Чаще всего в качестве ядерных функций берут упрощенные функции Гаусса:

$$G(X) = e^{\left(-\frac{\|X-X_l\|^2}{2\sigma^2}\right)},$$

где X_l – l -й образец вектора X , $l = \overline{1, L}$; X – неизвестный образец; σ – параметр, задающий ширину ядерной функции Гаусса и определяющий ее влияние.

Стоит отметить, что вид функции ядра G практически не влияет на точность восстановления плотности и на качество классификации [6].

Параметр σ (его также называют сглаживающим фактором) позволяет корректировать чувствительность нейрона и определять, насколько «острой» будет гауссова функция [6].

С помощью пакета прикладных программ Neural Network Toolbox, функционирующего под управлением ядра системы MATLAB, было проведено тестирование нейронной сети на различных наборах параметров образцов РТС и выявлена группа параметров, позволяющих с наибольшей эффективностью определять вероятность нахождения образца РТС в работоспособном состоянии. Для эффективной работы ИНС были определены входные параметры: тип РТС, срок службы образца РТС, наработка образца РТС, количество проводимых ремонтов, вид последнего ремонта.

4. Определение конечных затрат за весь период времени с учетом коэффициента удорожания и параметров скорректированного варианта:

$$Z^T = Z_{\text{общ}} \cdot R^T.$$

5. Определение эффективности переоснащения РТВ ВКС в течение заданного периода времени:

$$W_{\Pi} = \frac{W_{\Sigma}}{Z^T}.$$

В целом методика технико-экономического обоснования варианта переоснащения РТВ ВКС современными образцами РТС на основе нейросетевых технологий позволяет учесть совокупность факторов, влияющих на затраты, а также коэффициент удорожания варианта при его технико-экономическом обосновании, что позволяет повысить эффективность переоснащения РТВ ВКС в течение заданного периода времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика позволяет повысить эффективность переоснащения РТВ ВКС современными образцами РТС с учетом коэффициента удорожания варианта переоснащения РТВ ВКС, затрат на проведение мероприятий по переоснащению РТВ ВКС, а также на эксплуатацию и утилизацию образцов РТС, находящихся в составе РТВ ВКС в течение заданного периода времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луценко А.Д., Орлов В.А. Направления совершенствования методологии обоснования перспектив развития радиоэлектронной техники специального назначения // *Материалы X Международной конференции и российской научной школы*. М.: Радио и связь. 2005. Ч. 5. С. 48–57.
2. ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения. М.: Издательство стандартов. 1983. 8 с.
3. Бланк И.И. Финансовый менеджмент. Учебный курс. Киев: Ника-Центр Эльга. 2007. 454 с.
4. Specht D.F. Probabilistic neural networks // *Neural Networks*. 1990. V. 3. P. 109–118.
5. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // *The annals of Mathematical Statistics*. 1962. V. 33. № 3. P. 1065–1076.

6. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/voron-ml-1.pdf> (дата обращения: 11.09.2022).

Для цитирования: Бойкова А.В. Методика технико-экономического обоснования варианта переоснащения воздушно-космических сил современными образцами радиотехнических средств на основе нейросетевых технологий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2023. № 2 (18). С. 113–119.

**METHODOLOGY FOR A FEASIBILITY STUDY
OF THE OPTION OF RE-EQUIPPING THE AEROSPACE FORCES
WITH MODERN SAMPLES OF RADIO EQUIPMENT BASED
ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES**

A.V. BOYKOVA, Dr. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation;
e-mail: common@tstu.ru

As a result of the research, a method of feasibility study of the option of re-equipment of the RTV VCS units and subdivisions using an artificial neural network and simulation modeling is proposed, which makes it possible to reproduce the process of implementing the option of re-equipment of the RTV VCS with modern RTS samples and make a forecast taking into account the stochasticity of the processes of their functioning during a given period of time and taking into account the allocated budget allocations.

Keywords: defense, weapons and military equipment, re-equipment, forecasting, efficiency, neural networks, simulation.

Поступила в редакцию/received: 30.10.2022; после рецензирования/revised: 12.11.2022;
принята/accepted: 24.11.2022