

Научная статья
УДК 623.4.011
DOI: 10.34759/vst-2021-4-267-280

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОПОДОБНЫХ СЕТЕЙ

Евгений Николаевич Захаров¹, Денис Владимирович Усачёв² ✉

^{1,2}Технологический университет им. дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта
А.А. Леонова, Королев, Московская область, Россия

¹motorkom.z@mail.ru

²usachev_denis@mail.ru ✉

Аннотация. Кратко проанализированы основные методы оценки уровня качества продукции, выявлены их недостатки. Изложен новый подход, позволяющий оценивать уровень качества образцов авиационной техники военного назначения. Данный подход позволяет комплексно оценивать показатели качества образцов авиационной техники военного назначения, приводить их к результирующему, выраженному в цифровой форме показателю, а также учитывать внешние факторы.

Ключевые слова: оценка уровня качества образцов авиационной техники военного назначения, показатель качества, формализация объекта исследования, нейроподобный элемент

Для цитирования: Захаров Е.Н., Усачёв Д.В. Подход к оценке уровня качества образцов авиационной техники военного назначения на основе нейроподобных сетей // Вестник Московского авиационного института. 2021. Т. 28. № 4. С. 267-280. DOI: 10.34759/vst-2021-4-267-280

Original article

AN APPROACH TO THE ASSESSMENT OF MILITARY-ORIENTED AIRCRAFT ENGINEERING BASED ON NEURAL-LIKE NETWORKS

Evgeny N. Zaharov¹, Denis V. Usachev² ✉

^{1,2}Leonov Moscow Region University of Technology, Korolev, Moscow Region, Russia

¹motorkom.z@mail.ru

²usachev_denis@mail.ru ✉

Abstract

Quality assessment of the military-oriented aircraft engineering (MOAE) samples is being performed by one of the following techniques: complex, differentiated, mixed, integrated as well as by the economic practicality. Each of these methods has its pros and contras.

The complex technique allows assessing the quality level in aggregate, but it does not allow accounting for all meaningful indicators.

The differentiated technique computes simple quality indicators with account for the meaningful ones affecting the quality of the MOAE samples. This method application causes difficulties in the quality level assessment by the large quantity of simple indicators.

The mixed method allows quality assessment of the MOAE sample at large aggregate of the simple, meaningful and generalized indicators. Accounting for the large quantity of indicators requires complex mathematical calculations.

The integral method is applicable for assessing the MOAE operation efficiency. This method application is practical only when total costs of the sample creation, operation and useful effect of the sample operation are determined.

The sample quality assessment technique by the economic effectiveness is applied only when economic assessment is necessary. With this technique application, a large quantity of data on the sample should be necessarily accounted for.

All these techniques are applicable for the assessment of a single-type MOAE samples, namely of the same type and purpose. For assessing diversified MOAE samples quality indices are being employed

A brief analysis of the above listed techniques allows inferring that their application for the MOAE sample is not always practical. It is stipulated by the following reasons:

- The difficulty of reducing a wide nomenclature of indices to the resulting value expressed in a numerical form;
- The absence of the possibility for accounting for the external factors;
- The absence of the full pattern of the MOAE sample quality.

All these reasons instigate the search for new approaches and techniques of quality assessment accounting for the MOAE sample specifics.

According to the article "Application of analytical methods of open complicated systems for assessing the quality of designs of weapons, military and special equipment", MOAE is an open complicated system. Hence, the most suitable quality assessment technique for the open complicated systems is the technique for express-assessment of the open complicated systems functioning.

With account for the suggested technique and the approach, applied at present, the algorithm for the quality level assessment of the production was developed. The algorithm for the MOAE quality level assessment consists of two basic blocks. The first block is universal, and it is applied for quality level assessment of practically all kinds of products. As applied to the MOAE the first block consists of the following stages:

1. Setting the goals and tasks for the MOAE quality level assessment at all life-cycle stages. The main life-cycle stages are development, production and operation.

2. Defining the quality indicators nomenclature of the MOAE sample under study is a very important stage for its quality assessment. It is necessary to regard for the composition, structure, operation conditions, design specifications specifications and a number of other parameters while defining the quality indicators nomenclature of the MOAE sample.

3. There are six main techniques for defining the values of product quality indicators. They are measuring, registration, calculation, organoleptic, expert and sociological. All these techniques may be employed as applied to the MOAE samples.

4. Quality indicators values determining of the MOAE samples depends on the selected technique, and the tools used by this method.

The second block of the MOAE samples quality level assessment consists of the following stages:

1. The MOAE sample quality formalization represents its expansion into fundamental composite indicators in the form of hierarchical structure. The algorithm distinguishes internal and external formalization. External formalization means the studied object extraction from the external environment. In this particular case, the object of study is the MOAE sample quality indicator. Internal formalization means the MOAE sample quality indicator representation in the form of the hierarchical structure of the indicators, affecting its quality. Let call these indicators factors, since each lower-level indicator in the hierarchical structure affects the upper-level one.

2. Assessment of all factors of the hierarchical structure, as well as those of different physical nature is being performed according to the unified criterion scale, which envisions the factor state assessment on the assumption of the direct assessment principle on the interval from 0 to 1.

3. A neural-like network is being set based on the hierarchical formalization. The neural-like elements of this network and connections formed between them simulate individual factors. Each layer of the neural-like elements simulates factors of one hierarchy level. A neural-like network can work in two basic ways:

- Deterministic, when all neural-like elements operate according to a deterministic option;
- Statistical, when at least one neural-like element operates using simulation by to one of its characteristics.

4. The initial data for the MOAE sample can be determined on account of the purpose and structure, qualitative and quantitative characteristics of the operation processes, characteristics of external impacts of various physical nature factors, tactical situations options, characteristics and composition of means interacting with the sample, and characteristics of active counteraction means.

5. According to the pre-determined operating option of a neural-like element in the neural-like network, the compliance level of the MOAE sample with the intended objectives is being calculated.

6. If necessary, factor analysis is performed to check correctness and reliability of the resulting operating model of the neural-like network.

7. Decision making on the compliance level of the MOAE sample with the intended objectives (the requirements of tactical and technical tasks or technical conditions) serve as a basis for:

- Preparation and formation of suggestions and conclusions on the possibility of adopting the developed (tested) MOAE samples with putting them into production;
- Assessing the degree of the MOAE sample employing in real combat conditions;
- the possibility of the MOAE sample employing in various weather conditions.

8. Conclusions on the MOAE sample quality level (in conjunction with its purpose) compare the obtained quality indicator either with the basic one or with quality indicators of the foreign samples computed earlier. If the quality indicator appears less to be than the basic one or the foreign sample, suggestions are being elaborated on the indicators (factors) improvement of the first, second, third etc. hierarchical levels.

The suggested approach to assessing the quality level of MOAE sample possesses the following advantages:

- Apprehensible and accessible formalization (structuring) of the object under study;
- A comprehensive assessment of the MOAE samples quality is being performed with account for the external factors of various physical nature;
- The quality level assessment authenticity is being determined by the possibility of employing all available information (deterministic, calculated, expert);
- The ability of quick initial data setting and producing the results in real time.

Keywords: quality level assessment of military-oriented aircraft engineering, quality indicator, formalization of the research object, neural-like element

For citation: Zaharov E.N., Usachev D.V. An approach to the assessment of military-oriented aircraft engineering based on neural-like networks. *Aerospace MAI Journal*, 2021, vol. 28, no. 4, pp. 267-280. DOI: 10.34759/vst-2021-4-267-280

Введение

Развитие современных образцов авиационной техники военного назначения (АТ ВН) сопровождается всесторонним поддержанием их качества на всех этапах жизненного цикла. Каждый образец АТ ВН обладает совокупностью объективных свойств, определяющих его качество и обуславливающих его пригодность удовлетворять потребности государства в соответствии со своим назначением.

В статье рассматривается новый подход к оценке уровня качества образцов АТ ВН на основе разработанной нейроподобной сети.

Актуальность разработки нового подхода оценки уровня качества образцов АТ ВН обусловлена необходимостью:

- поддержания высокого уровня качества образца АТ ВН;

— обеспечения высокой конкурентоспособности АТ ВН оборонно-промышленного комплекса нашей страны;

— совершенствования современных методик оценки уровня качества.

Важным этапом оценки уровня качества образцов АТ ВН является выбор метода оценки и его применение на конкретном образце. Для оценки уровня качества продукции в нашей стране используют следующие методы: комплексный, дифференцированный, смешанный, интегральный и оценка по экономической эффективности [1].

Из анализа зарубежных источников [2, 3] очевидно, что в других странах для оценки уровня качества продукции используются практически те же методы, а именно: оценка по важнейшему показателю, оценка по обобщенному показателю, дифференцированный, комплексный, смешанный, интегральный, оценка по экономической эффективности, экспертный и др.

Оценку уровня качества образцов АТ ВН возможно производить методами, представленными в табл. 1. В этой таблице описана сущность каждого метода, а также указаны их достоинства

Таблица 1

Методы оценки уровня качества образцов авиационной техники военного назначения

Название метода	Сущность метода	Достоинства	Недостатки
1. Комплексный	<p>Сопоставляется комплексный (обобщенный) показатель качества оцениваемого $Q_{\text{оц}}$ и базового $Q_{\text{баз}}$ образцов [4]:</p> $K = \frac{Q_{\text{оц}}}{Q_{\text{баз}}}$ <p>Базовый показатель — регламентируемое значение либо значение показателя качества аналогичного образца.</p> <p>Существуют два варианта метода:</p> <p>1. Выделяют основной показатель и определяют его функциональную зависимость от единичных показателей</p> $Q = f(n, P_i, Y_i),$ <p>где n — число единичных показателей, P_i — i-й единичный показатель, Y_i — коэффициент при i-м единичном показателе</p> <p>2. Когда невозможно построить функциональную зависимость, используют формулу</p> $Q = (\sum_{i=1}^n m_i P_i) / n,$ <p>где m_i — коэффициент весомости i-го показателя [5]</p>	1. Позволяет комплексно оценивать качество образца	<p>1. Сложно найти обобщенный показатель.</p> <p>2. Не позволяет учитывать все значимые показатели</p>
2. Дифференциальный	<p>Единичные показатели качества образца сопоставляют с подобными базовыми единичными показателями</p> $K_i = \frac{P_{i\text{оц}}}{P_{i\text{баз}}}$ <p>Это выражение применимо, когда увеличение абсолютного значения показателя качества приводит к улучшению качества образца</p>	Позволяет учитывать значимые показатели образца	Трудно принимать решения по значениям многих единичных показателей

Окончание табл. 1

Название метода	Сущность метода	Достоинства	Недостатки
3. Смешанный	<p>Основой этого метода является совместное использование дифференцированного и комплексного методов.</p> <p>Последовательность действий при использовании смешанного метода следующая:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Единичные показатели свойств разбивают на группы. В каждой группе вычисляют комплексный показатель. Необходимо учитывать, что существенные единичные показатели могут анализироваться отдельно, без включения их в группы. 2. Вычисленные комплексные и выделенные существенные единичные показатели, выраженные в числовой форме, сравнивают с соответствующими базовыми: $Y_k = \sum_{i=1}^n m_i \frac{P_{i.оц}}{P_{i.баз}} + A \frac{K_{a.от}}{K_{a.баз}}$	Позволяет оценивать качество образца при большой совокупности единичных показателей	Учет большого количества количества единичных и обобщенных показателей, требует сложных расчетов
4. Интегральный	<p>Суть этого метода состоит в нахождении интегрального показателя. Интегральный показатель – отношение интегрального показателя свойств оцениваемого образца АТ к его соответствующему базовому значению:</p> $Y_{ин} = \frac{P_{ин.оц}}{P_{ин.баз}},$ <p>где $P_{ин.оц}$ – интегральный показатель качества оцениваемого образца, $P_{ин.баз}$ – базовое значение интегрального показателя</p>	Интегральный показатель качества $P_{ин}$ характеризует эффективность работы образца	Целесообразно его применение, когда определены суммарные затраты на создание, эксплуатацию образца и полезный эффект от эксплуатации
5. Оценка по экономической эффективности	<p>Чем выше экономическая эффективность использования оцениваемого образца АТ ВН, тем он будет качественнее в сравнении с другим аналогичным образцом АТ ВН [6]:</p> $Y_{к.э} = \frac{\Pi}{\Pi_{баз}}$ <p>где Π – экономический эффект образца, $\Pi_{баз}$ – экономический эффект базового образца</p>	Применяется только в тех случаях, когда обязательно требуется экономическая оценка	Трудноприменим для оценки качества образцов АТ ВН, так как для расчетов требуется большое количество сведений

и недостатки применительно к оценке уровня качества образцов АТ ВН.

Представленные выше методы оценки качества применимы для оценки однотипных (одного класса и назначения) образцов АТ ВН. Чтобы оценивать разнородные образцы АТ ВН, необходимо применять индексы качества. Индексы качества — комплексные показатели, равные средневзвешенным значениям относительных показателей качества разных типов образцов АТ ВН. Часто применяются средневзвешенный арифметический и геометрический индексы [7].

Существенные недостатки методов оценки качества как для однотипных, так и для разнородных образцов АТ ВН:

- сложно, а иногда и невозможно по ряду причин привести широкую номенклатуру показателей качества образца АТ ВН к результирующему показателю, объединяющему разные размерности, выраженному в числовой форме;

- отсутствует возможность учета внешних факторов, влияющих на качество образцов АТ, таких, как: военно-политические, финансово-экономические, производственно-технологические, геофизические, социально-психофизиологические;

- каждый из представленных методов не дает полную картину о качестве образца АТ ВН.

Проанализировав существующие методы оценки уровня качества АТ ВН, можно сделать

вывод, что проблемы, с которыми приходится сталкиваться при использовании вышеперечисленных методов, побуждают искать новые подходы и методы, учитывающие специфику образцов АТ ВН.

Оценка качества образцов АТ ВН состоит из ряда задач, решение каждой из которых предполагает построение и анализ открытой сложной системы (ОСС), рассмотрение и учет множества факторов различной природы.

Для проведения такого анализа и разработки на этой базе решений по повышению эффективности ОСС необходимы обоснование применения определенного математического аппарата из известных в настоящее время, модернизация существующего или разработка нового.

Построение математического аппарата представляет собой последовательное выполнение следующих этапов:

- формализация технических и эксплуатационных характеристик исследуемого образца;
- обоснование требований к уровню подготовки производства, обеспечивающих соответствующий уровень качества;

— исследование современных методов и подходов для прогнозирования требуемого уровня качества;

— построение системы моделей расчета показателей, обосновывающих требуемый уровень заданных характеристик образцов [8].

Основные методы и алгоритмы анализа сложных систем и их применимость для оценки образцов вооружения военной и специальной техники (ВВСТ) рассмотрены в статье «Применимость методов анализа открытых сложных систем для оценки качества образцов вооружения, военной и специальной техники» [9]. В этой статье сделан вывод, что наиболее подходящим методом для оценки качества образцов ВВСТ является метод экспресс-оценки функционирования открытых сложных систем [20], позволяющий производить оценку качества с учетом нестационарных факторов различной физической природы. Так как данный метод предназначен для решения широкого круга задач оценки открытых сложных систем, то он применим и для оценки уровня качества образцов АТ ВН.

Подход, используемый в настоящее время для оценки уровня качества продукции, представлен на рис. 1 [10].



Рис. 1. Этапы оценки уровня качества продукции

Применительно к АТ ВН и с учетом предложенного метода, представим общий подход к оценке уровня качества АТ ВН (рис. 2).

Распишем кратко каждый их этапов оценки уровня качества АТ ВН.

На каждом этапе жизненного цикла образцов АТ ВН устанавливаются цели и задачи оценки ее уровня качества. Существуют три основных этапа жизненного цикла образцов АТ ВН, на которых необходимо управлять качеством и проводить его оценку [11]. Цели и задачи оценки уровня качества образцов АТ ВН на основных этапах жизненного цикла представлены в табл. 2.

Предварительно определяется номенклатура показателей качества с учетом:

- назначения и условий эксплуатации образцов АТ ВН;

- состава и структуры характеризующих свойств;

- тактико-технических требований заказчика;

- приобретенного уровня качества и задач управления качеством;

- основных требований к показателям качества образцов и области их применения [13].

Данные по номенклатуре показателей качества берут из технической документации на объекты АТ ВН. Проанализировав соответствующую документацию по объектам АТ ВН, выделим по характеризующим свойствам следующие группы показателей:

- назначения образцов АТ ВН;

- эксплуатационно-технические: отказоустойчивости, надежности (безотказности, дол-



Рис. 2. Основные этапы оценки уровня качества авиационной техники военного назначения

Таблица 2

Цели и задачи оценки уровня качества образцов АТ ВН

№ п.п.	Этап жизненного цикла	Цели и задачи оценки уровня качества образцов АТ ВН
1	Разработка	- обоснование показателей качества; - обоснование запланированного уровня качества; - определение пригодности образца к его производству и эксплуатации
2	Производство	- уточнение конструкции и технологии производства; - определение подходящей организации контроля качества
3	Эксплуатация	- оптимизация способов боевого применения, технического обслуживания, транспортирования, хранения и ремонта образцов; - установление необходимости замены, ремонта и отладки агрегатов узлов, систем и пр.; - выработка предложений по улучшению качества образцов или снятию их с вооружения [12]

говечности, сохраняемости, ремонтпригодности), эксплуатационной технологичности, контролепригодности, комплексные;

- безопасности;
- эргономические (антропометрические, физиологические, психофизиологические, психологические, гигиенические);
- технологические;
- экономические;
- эстетические;
- стандартизации и унификации;
- патентного права;
- экологические;
- транспортировки.

Существует шесть основных методов определения значений показателей качества продукции: измерительный, регистрационный, расчетный, органолептический, экспертный, социологический [14]. Применительно к образцам АТ ВН могут быть применены все эти методы. Определение значений показателей качества образцов АТ ВН зависит от выбранного метода и применяемых в этом методе инструментов.

Первым этапом оценки уровня качества АТ ВН является формализация объекта исследования. Формализация качества образца АТ ВН представляет собой разложение его на основные составные показатели в виде иерархической структуры [15]. В предложенном подходе будем

различать внешнюю и внутреннюю формализацию.

Внешняя формализация – это выделение объекта исследования из внешней среды. В нашем случае в качестве объекта исследования выступает общий показатель качества образца АТ ВН – уровень соответствия объекта задачам по предназначению. Он же является «фактором 0», на который влияют другие факторы более низкого уровня в иерархической структуре. Далее в работе фактором будет называться любой показатель качества образца АТ ВН. Это обосновывается тем, что между показателями имеются связи, за счет которых показатели более низкого уровня оказывают влияние на показатели более высокого уровня.

Внутренняя формализация – это представление показателя качества образца АТ ВН в виде иерархической структуры частных показателей, влияющих на его качество. В этой структуре различают факторы 1-го, 2-го и т.д. уровня иерархии, влияющие на фактор 0, – с заданием связей между ними.

Внутренняя иерархическая формализация предполагает определение перечня факторов более низкого уровня, которые влияют на факторы более высокого уровня. При этом необходимо учитывать, что между факторами различных уровней и между факторами одного уровня мо-

гут образовываться различные связи (горизонтальные, вертикальные и диагональные, сильные и слабые и т.д.). В первую очередь устанавливается (определяется) перечень факторов первого уровня, влияющих на фактор 0. Далее устанавливается (определяется) перечень факторов второго уровня, влияющих на факторы первого уровня и т.д.

При формализации необходимо использовать принцип необходимости и достаточности.

Например, в качестве факторов 1-го уровня можно определить три известных показателя: обобщенный показатель боевого применения, обобщенный эксплуатационный показатель, показатель (критерий) «эффективность—стоимость».

Обобщенный показатель боевого применения АТ ВН представляет собой функцию факторов, находящихся на втором уровне иерархической системы, учитываемых при выполнении боевых задач. К показателям второго уровня боевого применения АТ ВН относятся: огневая мощь, выживаемость, досягаемость, оперативность, применимость, маскируемость, маневренность, мобильность, скрытность.

Обобщенный эксплуатационный показатель АТ ВН представляет собой функцию факторов, находящихся на втором уровне, учитываемых при эксплуатации АТ. К эксплуатационным показателям второго уровня АТ относятся: отказоустойчивость, надежность, эксплуатационная ремонтная технологичность, контролепригодность, живучесть и стойкость к внешним воздействиям, транспортабельность, прочность, степень опасности, социально-ориентированная, функциональная и техническая эффективность.

Во многих литературных источниках, в особенности касающихся оценки эффективности вооружения, используется такой показатель, как «эффективность—стоимость» [16], который сопоставляет возможность достижения требований, предъявляемых к образцу АТ ВН, с его стоимостью. Он является одним из основных показателей, позволяющих проводить сравнительный анализ образцов АТ ВН.

Вариант формализации качества образца АТ ВН представлен на рис. 3, где в виде иерархической структуры изображены факторы, влияющие на качество образца АТ ВН. Всего изображено пять уровней факторов с сильными вертикальными связями (для упрощения).

Проведенная формализация (рис. 3) является основой для формирования нейроподобной сети (НПС). В такой НПС факторы моделируются с помощью нейроподобных элементов (НПЭ), а отношения между ними — соответствующими связями [19, 20].

В такой нейроподобной сети существует три типа НПЭ:

- входные НПЭ, не имеющие синаптических связей с НПЭ более низкого уровня;
- выходной НПЭ, не имеющий синаптических связей с НПЭ более высокого уровня;
- промежуточные НПЭ, имеющие синаптические связи с НПЭ более низкого и более высокого уровня.

Вариант общей структуры НПС, в которой имеются входные, выходной и промежуточные НПЭ, а также синаптические и горизонтальная связи между ними, можно представить в виде схемы (рис. 4).

Функционирование НПС в зависимости от поставленной задачи, от объекта исследования, от детальности и оперативности оценки и др., может происходить по 16 вариантам [19], которые в статье не приводятся.

Принятие решения об уровне соответствия образца АТ ВН задачам по предназначению (требованиям тактико-технических заданий или технических условий) служит основанием для:

- подготовки и формирования предложений и заключений о возможности принятия разработанных (испытанных) образцов АТ ВН на вооружение с постановкой их на производство;
- оценки степени применения образца АТ ВН в реальных боевых условиях;
- возможности эксплуатации образца в различных погодных условиях.

В выводах об уровне качества образца АТ ВН (соответствии его задачам по предназначению) сравнивается полученный показатель качества с базовым либо с рассчитанными ранее показателями качества зарубежных образцов. Если показатель качества оцениваемого образца АТ ВН оказывается ниже базового либо зарубежного образца, то выдаются предложения по улучшению показателей (факторов) 1, 2, 3 и т.д. уровня иерархии.

Выводы

Подход к оценке уровня качества образцов АТ ВН на основе нейроподобной сети позволяет:

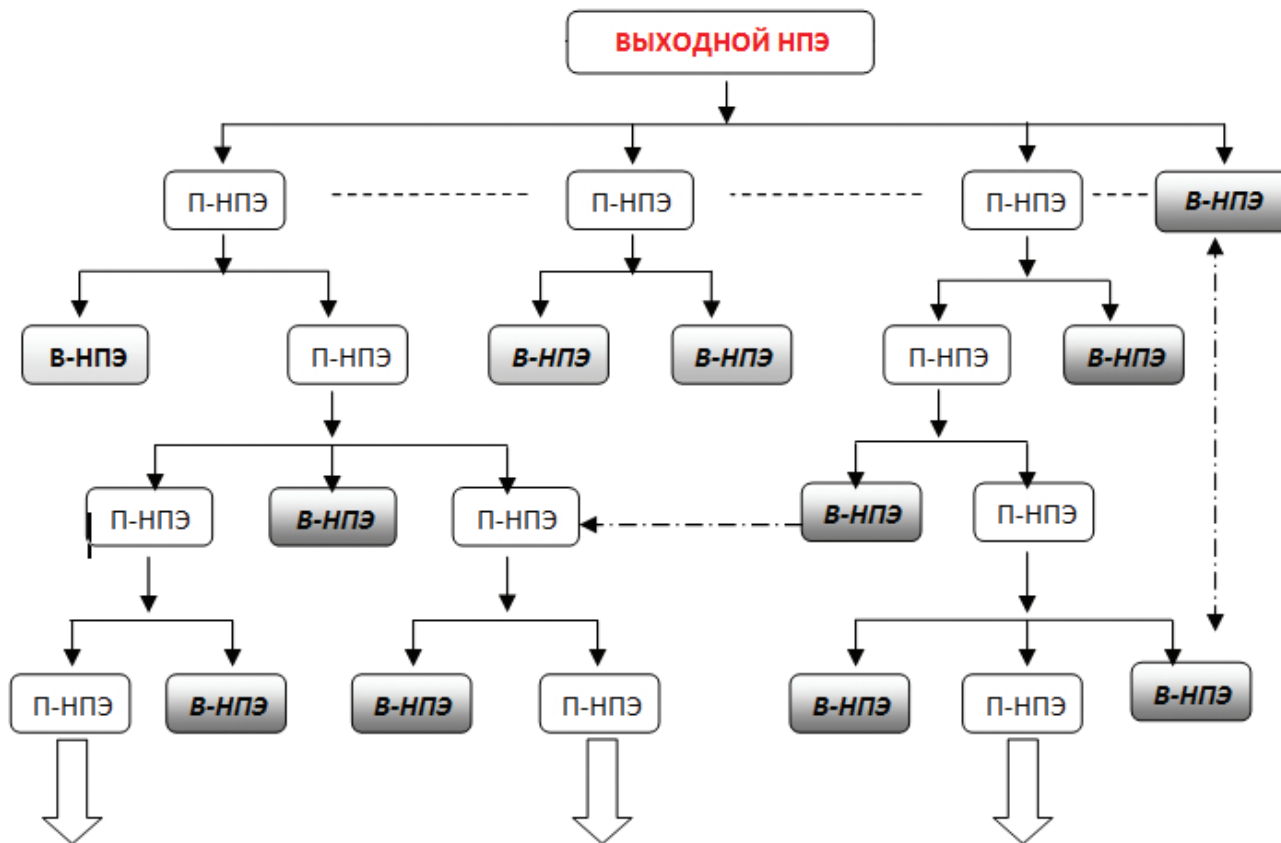


Рис. 4. Вариант общей структуры НПС

- понятно и доступно формализовать (структурировать) объект исследования;
- производить комплексную оценку качества образцов АТ ВН с учетом внутренних и внешних факторов различной физической природы, в том числе нестационарных;
- использовать при оценке всю доступную информацию (детерминированную, расчетную, экспертную);
- максимально достоверно оценивать уровень качества образца АТ ВН;
- оперативно задавать исходные данные и получать результаты в практически реальном масштабе времени;
- использовать различные варианты работы НПС исходя из требований оперативности и достоверности.

Список источников

1. Пасько Т.В., Таров В.П. Оценка качества технических систем: Учебное пособие для студентов вузов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2016. – 96 с.
2. Classification of quality level assessment methods. URL: <https://intellect.ml/classification-of-quality-level-assessment-methods-7683>
3. Kiran D.R. Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies. — Butterworth-Heinemann, 2016. — 582 p.
4. Методы оценки уровня качества. 2021. URL: <https://znaytovar.ru/new540.html>
5. Прохоров Ю.К. Управление качеством: Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2007. – 144 с.
6. Коробейникова Е.С. Стандартизация и управление качеством продукции // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 3. С. 210-219.
7. Попов С.М., Щелоков С.А. Методы решения задачи оценки качества процесса теплогенерации // Перспективы развития информационных технологий. 2013. №15. С. 41-45.
8. Демидов Б.А., Величко А.Ф., Волощук И.В. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области. Книга 2. Организационно-методические основы деятельности в военно-технической области. – Киев: Технологічний парк, 2006. – 1152 с.
9. Захаров Е.Н., Усачев Д.В. Применимость методов анализа открытых сложных систем для оценки уровня качества образцов вооружения, военной и специальной техники // X Ежегодная научная конференция аспирантов МГОТУ “Инновационные аспекты социально-экономического развития

- региона”: Сборник материалов научно-практической конференции (14 мая 2020, наукоград Королёв, Московская область). М.: Научный консультант, 2020. С. 251-258.
10. Соседова Я.Г., Герасимов Б.И., Сизикин А.Ю. Стандартизация и управление качеством продукции: Монография. — Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2012. — 268 с.
 11. Ряпухин А.В. Качество управления инновационными технологическими проектами и программами в области создания авиационной и ракетно-космической техники // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 3. С. 132-137.
 12. Пономарева С.В., Шишкина Г.В., Мозгова Г.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для студентов вузов. — Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. — 96 с.
 13. Сергеева И. Оценка уровня качества продукции // Институт экономики и управления. 2017. URL: <http://sergeeva-i.narod.ru/quality/page3.htm>
 14. Goswami D. The Importance of Quality Assurance in the Aviation Industry. 2020. URL: <https://medium.com/qualitest/the-importance-of-quality-assurance-in-the-aviation-industry-4e68371bdbb6>
 15. Сакулин С.А., Соколов Д.А., Выхованец В.С. Формализованная экспертная оценка качества образовательных мультимедиа-ресурсов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 9(128). С. 83–94. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-9-83-94
 16. Усанин С.Н. Методика оценки эффективности и качества образцов вооружения и военной техники при обосновании перспектив его развития // Современное состояние и пути развития системы подготовки специалистов силовых структур: Сборник статей. — Пермь: Изд-во Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации, 2016. С. 295-301.
 17. Li Y. Deep reinforcement learning: an overview. 2017, 150 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.06339.pdf>
 18. Dawson C. Applied artificial neural networks. — Mdp AG, 2016. — 258 p.
 19. Захаров Е.Н. Нейроподобный элемент. Патент RU 2744361 С1. Бюл. № 7, 05.03.2021.
 20. Захаров Е.Н., Чечкин А.В. Построение интеллектуальных систем на основе метода экспресс-анализа функционирования открытых сложных систем с использованием нейроподобных сетей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2008. № 7. С. 28-35.
 21. Никоненко С.И., Кадури А.А., Архангельская Е.В. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.
 22. Кулаков П.А. Измерение в социологии: Учеб. пособие. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2005. — 124 с.

References

1. Pas'ko T.V., Tarov V.P. *Otsenka kachestva tekhnicheskikh sistem* (Quality assessment of technical systems), Tambov, TGTU, 2016, 96 p.
2. *Classification of quality level assessment methods*. URL: <https://intellect.ml/classification-of-quality-level-assessment-methods-7683>
3. Kiran D.R. *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. Butterworth-Heinemann, 2016, 582 p.
4. *Metody otsenki urovnya kachestva*, 2021. URL: <https://znaytovar.ru/new540.html>
5. Prokhorov Yu.K. *Upravlenie kachestvom* (Quality management), St. Petersburg, SPbGUITMO, 2007, 144 p.
6. Korobeinikova E.S. Evolvement of quality management systems effectiveness assessment mechanism in aerospace industry. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 3, pp. 210-219.
7. Popov S.M. Shchelokov S.A. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologii*, 2013, no. 15, pp. 41-45.
8. Demidov B.A., Velichko A.F., Voloshchuk I.V. *Sistemno-kontseptual'nye osnovy deyatel'nosti v voenno-tekhnicheskoi oblasti. Kniga 2. Organizatsionno-metodicheskie osnovy deyatel'nosti v voenno-tekhnicheskoi oblasti* (System-conceptual foundations of activities in the military-technical field. Book 2. Organizational and methodological bases of activity in the military-technical field). Kiev, Tekhnologicheskii park, 2006, 1152 p.
9. Zakharov E.N., Usachev D.V. *Materialy X Ezhegodnoi nauchnoi konferentsii aspirantov MGOTU "Innovatsionnye aspekty sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona" (14 May 2020, science city Korolev, Moscow region)*, Moscow, Nauchnyi konsul'tant, 2020, pp. 251-258.
10. Sosodova Ya.G., Gerasimov B.I., Sizikin A.Yu. *Standartizatsiya i upravlenie kachestvom produktsii* (Standardization and product quality management), Tambov, TGTU, 2012, 268 p.
11. Ryapukhin A.V. Innovative technological projects in the domain of aircraft and aerospace engineering quality management. *Aerospace MAI Journal*, 2017, vol. 24, no. 1, pp. 132-137.
12. Ponomareva S.V., Shishkina G.V., Mozgova G.V. *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya* (Metrology, standardization and certification), Tambov, GOU VPO TGTU, 2010, 96 p.
13. Sergeeva I. *Institut ekonomiki i upravleniya*, 2017. URL: <http://sergeeva-i.narod.ru/quality/page3.htm>

14. Goswami D. *The Importance of Quality Assurance in the Aviation Industry*, 2020. URL: <https://medium.com/qualitest/the-importance-of-quality-assurance-in-the-aviation-industry-4e68371bdbb6>
15. Sakulin S.A., Sokolov D.A., Vykhovanets V.S. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, vol. 21, no. 9(128), pp. 83–94. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-9-83-94
16. Usanin S.N. *Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya sistemy podgotovki spetsialistov silovykh struktur. Sbornik statei*. Perm, Permskii voennyi institut voisk natsional'noi gvardii Rossiiskoi Federatsii, 2016, pp. 295-301.
17. Li Y. *Deep reinforcement learning: an overview*. 2017, 150 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.06339.pdf>
18. Dawson C. *Applied artificial neural networks*. Mdpi AG, 2016, 258 p.
19. Zakharov E.N. *Patent RU 2744361 C1*, 05.03.2021.
20. Zakharov E.N., Chechkin A.V. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*, 2008, no. 7, pp. 28–35.
21. Nikonenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangel'skaya E.V. *Glubokoe obucheniye. Pogruzheniye v mir neironnykh setei (Deep learning. Immersion in the world of neural networks)*, St. Petersburg, Piter, 2018, 480 p.
22. Kulakov P.A. *Izmereniye v sotsiologii (Measurements in sociology)*, Novosibirsk, NGASU (Sibstrin), 2005, 124 p.

Статья поступила в редакцию 06.09.2021; одобрена после рецензирования 15.09.2021; принята к публикации 23.09.2021.

The article was submitted on 06.09.2021; approved after reviewing on 15.09.2021; accepted for publication on 23.09.2021.

Редакторы *М.С. Винниченко, Е.Л. Мочина*
Компьютерная верстка *О.Г. Лавровой*

Сдано в набор 19.10.2021. Подписано в печать 15.12.2021.
Бумага офсетная. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 32,55. Уч.-изд. л. 35,00. Тираж 105 экз. Заказ 117/988.
Цена свободная.

Издательство МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993
Типография Издательства МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993