

УДК 004.9, 355.5

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.35.4.004](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.004)

Проактивное управление функциональными характеристиками радиолокационного комплекса по данным автоматизированных учебно-тренировочных средств

А.В. Тимошенко¹, А.В. Осипов², Д.А. Харебин³ ✉

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация

²Ремвооружение, Москва, Российская Федерация

³РТИ, Москва, Российская Федерация
dharebin@aorti.ru ✉


Резюме. В статье рассмотрен вопрос обеспечения эффективности применения проактивного управления функциональными характеристиками радиолокационного комплекса с учетом технической готовности аппаратно-программных средств и уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала. Подчеркивается важность вклада человеческого фактора в обеспечение боеготовности и эффективности применения радиолокационного комплекса по назначению. В результате проведенного анализа существующего методического аппарата оценки уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала для реализации современных методов проактивного управления, определена необходимость и пути его совершенствования на базе принятого априори в Российской Федерации компетентностного подхода. Введены понятия профессионального компетентностного портрета оператора и эталонного профессионального компетентностного портрета, описывающего необходимый и достаточный набор компетенций, требуемый оператору для своевременного и эффективного управления и применения радиолокационного комплекса. Описана информационная модель профессионального компетентностного портрета, предложена метрика расчета количественной интегральной оценки уровня его сформированности, применимая для программной реализации в составе автоматизированных учебно-тренировочных средств. Приведена схема применения автоматизированных учебно-тренировочных средств при решении оперативных задач проактивного управления радиолокационным комплексом. Отмечена необходимость использования Big Data оперативных данных ремонтно-диагностического комплекса по обнаружению признаков, определению причин и устранению / предотвращению отказов, а также архивных и актуальных данных от автоматизированных учебно-тренировочных средств о состоянии подготовки операторов и обслуживающего персонала в процессе проактивного управления радиолокационным комплексом. На основании полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности комплексирования учебно-тренировочных средств и систем технического и функционального контроля радиолокационного комплекса в целях достижения заданного уровня вероятности выполнения задач радиолокационного комплекса по назначению.

Ключевые слова: проактивное управление, технический контроль, искусственный интеллект, Big Data, учебно-тренировочные средства, компетентностный подход.

Для цитирования: Тимошенко А.В., Осипов А.В., Харебин Д.А. Проактивное управление функциональными характеристиками радиолокационного комплекса по данным автоматизированных учебно-тренировочных средств. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1044>
DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.004

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00481.


Proactive management of the functional characteristics of the radar complex according to the data of automated educational and training tools

A.V. Timoshenko¹, A.V. Osipov², D.A. Kharebin³ 

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation*

²*Remvooruzhenie, Moscow, Russian Federation*

³*RTI, Moscow, Russian Federation*

dharebin@aorti.ru 

Abstract: This article considers the issue of ensuring the effective use of proactive control of the functional characteristics of the radar complex, taking into account the technical readiness of hardware and software and the level of training of operators and maintenance personnel. The importance of the human factor contribution in ensuring the combat readiness and effectiveness of the use of the radar complex for its intended purpose is emphasized. As a result of the analysis of the existing methodological apparatus for assessing the level of training of operators and service personnel for the modern proactive management methods implementation, the necessity and ways of improving it are determined based on the competence approach adopted a priori in the Russian Federation. The concepts of the professional competence portrait of the operator and the reference professional competence portrait describing the necessary and sufficient set of competencies required by the operator for timely and effective management and application of the radar complex are introduced. An information model of a professional competence portrait is described, a metric for calculating a quantitative integral assessment of the level of its formation is proposed, which is applicable for software implementation as part of automated training tools. The scheme of application of automated training tools for solving operational tasks of proactive control of the radar complex is presented. The necessity of using Big Data of operational data of the repair and diagnostic complex for detecting signs, determining the causes and eliminating/preventing failures, as well as archival and up-to-date data from automated training facilities on the state of training of operators and maintenance personnel in the process of proactive control of the radar complex is noted. Based on the results obtained, it can be concluded that it is advisable to integrate training facilities and systems of technical and functional control of the radar complex to achieve a given level of probability of performing the tasks of the radar complex according to its intended purpose.

Keywords: proactive management, technical control, artificial intelligence, Big Data, educational and training tools, competence approach.

For citation: Timoshenko A.V., Osipov A.V., Kharebin D.A. Proactive management of the functional characteristics of the radar complex according to the data of automated educational and training tools.

Modeling, Optimization and Information Technology. 2021;9(4). Available from:

<https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1044> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.004 (In Russ).

Acknowledgments: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 21-19-00481.

Введение

В современных радиолокационных комплексах (РЛК) мониторинга воздушного пространства, несмотря на применение высоконадежных компонент и технологий в связи со сложностью и интенсивностью решаемых задач, возникают как аварийные ситуации, так и сбои в работе аппаратуры, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить заданный уровень вероятности выполнения задач РЛК по назначению [1].

Анализ причин возникновения аварийных состояний РЛК обуславливает необходимость применения эффективных методов прогнозирования возможных аварийных ситуаций для заблаговременного принятия мер по их предупреждению [2-4]. Для решения задач прогнозирования отказов на практике активно применяются следующие методы [5,6]:

- статистический анализ;
- формальная и прогнозная экстраполяция;
- метод экспертных оценок;
- методы моделирования;
- методы искусственного интеллекта (генетические алгоритмы, нейронные сети и пр.).

Заблаговременное предупреждение отказа составляет суть проактивного управления техническим состоянием РЛК.

Согласно [7, 8], под проактивным управлением понимается высокоточное и заблаговременное прогнозирование технического состояния, по результатам которого выполняются действия по предупреждению и устранению неисправностей, влияющих на невыполнение РЛК задач по назначению. Однако, в связи с тем, что радиолокационные комплексы (РЛК) являются сложными человеко-машинными системами, эффективное применение технологий проактивного управления оказывается малоэффективным без учета человеческого фактора.

Значимость указанного фактора характеризуется показателем уровня боеготовности (БГ) РЛК [9] – $\Psi_{БГ}$, который определяется как изменениями технического состояния аппаратуры, так и уровнем обученности операторов и обслуживающего персонала

$$\Psi_{БГ}(Y_{ТГ}, Q), \quad (1)$$

где:

$Y_{ТГ}$ – уровень технической готовности (ТГ) РЛК;

Q – оценка уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала РЛК.

В настоящее время для определения уровня технической готовности РЛК существуют достаточно эффективные методы [10-12].

Согласно [13-15], оценку уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала РЛК уместно проводить на базе автоматизированных учебно-тренировочных средств, которыми де-факто оснащаются современные РЛК. В [13] описываются модели оптимизации принятия управленческих решений при управлении образовательной системой. В работе [14] предлагается применение алгоритмов минимаксного обучения, политики восхождения (РНС), политики быстрого выигрыша / обучения (WoLF-RНС) в реализации стохастических обучающих играх. В [15] предложено применение метода дифференциации обучающихся в целях повышения эффективности подготовки специалистов с использованием адаптивной автоматизированной системы обучения. Адаптивность автоматизированной системы обучения, по задумке авторов, заключается в повторении недостаточно хорошо усвоенной пройденной темы, прежде чем осуществить переход к следующей теме. В статье [16] с применением теории множеств и модульного подхода к процессу обучения описываются множества компетенций, направлений подготовки, модулей обучения, приводится метод решения задач минимизации времени или ресурсов, затраченных при освоении требуемого набора компетенций. Однако, допущение о булевских значениях (0 или 1) освоения компетенций сводит на нет практическую применимость описанных методов.

Становится очевидным отсутствие консолидированного комплексного подхода, к решению задач организации процесса подготовки, отсутствие взаимосвязанных средств объективного контроля уровня подготовки, не говоря уже о таких тонких моментах, как, крайне важный для практического применения в средствах автоматизированного обучения вопрос учета естественных процессов забывания и необходимости периодического контроля и заполнения пробелов в знаниях, умениях и навыках операторов и обслуживающего персонала [17]. Неотъемлемой частью процесса подготовки является методический аппарат оценки уровня подготовки, который не готов

к реализации современных методов проактивного управления, и требует совершенствования по следующим причинам:

- низкая степень формализации процесса подготовки и оценки результатов подготовки операторов и обслуживающего персонала;
- отсутствие семантических связей с системами эксплуатации РЛК, и, как следствие, нехватка дидактического материала и невозможность обеспечения должного качества подготовки;
- отсутствие модели количественной оценки уровня подготовки, позволяющей в реальном времени получать данные, достаточные для применения методов машинного обучения, обеспечивающих заданный горизонт и точность прогноза действий персонала в аварийных ситуациях.

Показатели для оценки уровня подготовки персонала

Реализацию эффективного проактивного управления, учитывающего реальный уровень подготовки персонала, в значительной степени определяет выбор показателя, по результатам которого разрабатывается необходимый программно-аппаратный комплекс получения необходимых данных.

В соответствии с положениями Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» [18] и приказом № 670 МО РФ [19] таким показателем следует считать так называемый компетентностный подход.

Согласно [20, 21], компетентностный подход учитывает результат подготовки, в качестве которой рассматривается не только усвоенная информация, но и способность действовать в различной обстановке при решении определенного круга задач [22].

Анализ приведенной выше нормативной базы показал, что наиболее эффективным показателем готовности (качества подготовки) целесообразно выбрать степень развития профессиональных компетенций, под которыми понимаются обобщенные способы действий – умений / навыков, основанных на знаниях и обеспечивающих продуктивное выполнение профессиональной деятельности [23]. Условно, «формулу» профессиональной компетенции можно представить таким образом:

«Профессиональная компетенция = Знания + Умения + Навыки».

Совокупность профессиональных компетенций, необходимых для выполнения функциональных обязанностей будем называть профессиональным компетентностным портретом (ПКП).

Для решения задачи обеспечения постоянного высокого уровня боеготовности (2) при эксплуатации РЛК необходимо средство оценки текущего уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала РЛК.

$$D = f(d, S_{\text{mal}}): \uparrow \Psi_{\text{БГ}_{\text{тек}}} (Y_{\text{ТГ}}, Q_{\text{ПКП}_{\text{тек}}}), \quad (2)$$

$$\text{при ограничениях: } \Psi_{\text{БГ}_{\text{тек}}} \geq \Psi_{\text{БГ}_{\text{тр}}}, \quad T_{\text{тек}}(Q_{\text{ПКП}_{\text{тек}}}) \leq T_{\text{тр}}(Q_{\text{ПКП}})$$

$$\Psi_{\text{БГ}} = Y_{\text{ТГ}} \cdot Q_{\text{ПКП}_{\text{тек}}}, \quad (3)$$

где:

D – методика обеспечения требуемого уровня боеготовности РЛК при реализации проактивного управления;

d – способ оценки уровня ПКП;

S_{mal} – способ поддержания требуемого уровня ПКП операторов и обслуживающего персонала РЛК (mal – maintaining the availability level of readiness – поддержание уровня готовности);

$\Psi_{\text{БГ}}$ – оценка уровня БГ (боевой готовности);

$Y_{\text{ТГ}}$ – уровень технической готовности (ТГ) изделия;

$Q_{ПКП}$ – оценка уровня обученности (оценка уровня освоения профессиональных компетенций - ПКП);

$\Psi_{БГ_{тек}}$ – текущий уровень боеготовности РЛК;

$\Psi_{БГ_{тр}}$ – требуемый уровень боеготовности РЛК (например, заданный в ТТЗ);

$T_{тек}(Q_{ПКП_{тек}})$ – время, затрачиваемое на подготовку операторов и обслуживающего персонала РЛК до текущего уровня обученности $Q_{ПКП_{тек}}$;

$T_{тр}(Q_{ПКПО_{РЛК}})$ – время, затрачиваемое на подготовку операторов и обслуживающего персонала РЛК до требуемого уровня обученности $Q_{ПКПО_{РЛК}}$.

Традиционно [24-27], при определении профессионального компетентностного портрета применяются статистические модели, крайне редко опирающиеся на Big Data, что не обеспечивает требуемые значения горизонта и точности прогноза уровня персонала, в том числе и в аварийных ситуациях. Как правило, методики используют статистические массивы информации небольшой мощности или менее достоверные, что еще сомнительнее – некие «экспертные оценки». В последнем случае, авторы [27, 28], как правило, абсолютно не уделяют внимания оценке уровня лиц, осуществляющих формирование «экспертных оценок», что, в свою очередь, ставит под сомнение результаты всей работы. Исключая из рассмотрения «экспертные оценки», основным первоисточником данных для большинства имеющих моделей оценки ПКП являются данные педагогического тестирования. Однако хорошо известно, что данные тестирования могут считаться корректными лишь при условии, что в предваряющем процессе обучения предоставлены необходимые учебные материалы и возможности освоения компетенций ПКП оператора РЛК ($ПКПО_{РЛК}$).

При этом оценка уровня освоения $ПКПО_{РЛК}$ определяет набор компетенций, необходимый для выполнения действий оператора по:

- применению РЛК по назначению;
- проведению технического обслуживания РЛК;
- реактивного управления техническим состоянием РЛК;
- проактивного управления техническим состоянием РЛК.

Обеспечить такую возможность возможно при комплексировании автоматизированных учебно-тренировочных средств с системами непрерывного получения, обработки и анализа данных технического состояния РЛК. В этом случае задача реализации эффективного проактивного управления работой РЛК, в том числе при авариях, переходит в разряд современных информационных технологий – так называемых Big Data, в которых источниками данных являются:

- оперативные и архивные данные, полученные в процессе подготовки операторов и обслуживающего персонала РЛК;
- системы оперативного получения, обработки и анализа данных технического состояния РЛК;
- данные ремонтно-диагностических комплексов, производящих диагностику и средний ремонт составных частей РЛК;
- данные производителей составных частей РЛК по устранению обнаруженных отказов, доработкам, КД и ПД на составные части изделия.

Целями обработки Big Data РЛК (БДРЛК) являются построение, на основе имеющихся данных, достоверных прогнозов изменения технического состояния аппаратно-программных средств и оценки возможности реализации операторами и обслуживающим персоналом преимуществ применения проактивного подхода при эксплуатации и применении РЛК по назначению.

При реализации проактивного управления РЛК, автоматизированные учебно-тренировочные средства должны обеспечить высокоточное и своевременное прогнозирование возможности выполнения конкретным j -ым обучающимся корректных действий по предотвращению или устранению отказа составной части РЛК в течение требуемого промежутка времени по нормативу.

Функционирование перспективных автоматизированных учебно-тренировочных средств в БДРЛК представлено на схеме применения автоматизированных учебно-тренировочных средств при решении оперативных задач проактивного управления РЛК (Рисунок 1). Следует отметить, что автоматизация учебно-тренировочных средств требует четкой формализации понятий профессиональной компетенции и ПКП.

В этой связи при описании профессиональных компетентностных моделей наибольшую эффективность обеспечивает аксиоматический базис, согласно которому:

1. Существует n -мерное пространство компетенций $M^N | N \rightarrow \infty$, каждая ось которого соответствует определенной профессиональной компетенции m_i .

2. Множество профессиональных компетенций, которыми обладает i -ый обучающийся отображается в пространстве M^N точкой:

$$M_j = \{k_{ji} \in M^N | i = 1 \dots N\} \quad (4)$$

3. Каждая профессиональная компетенция k_i , которой соответствует ось M_i описывает сущность *substantia* и имеет количественную оценку уровня освоения *estimation*:

$$k_i = \langle substantia, estimation \rangle | estimation \geq 0 \quad (5)$$

$sup(estimation) = 0$ интерпретируется как полное отсутствие признаков освоения профессиональной компетенции.

$inf(estimation) \rightarrow \infty$ обозначает отсутствие ограничения глубины освоения профессиональной компетенции.

4. Единица измерения оценки уровня освоения профессиональной компетенции *estimation* – профессиональное знание / опыт - ex.

5. Модель профессиональных компетенций обучающегося M_o – представление об уровнях освоения профессиональных компетенций в пространстве M^N на конкретный момент времени.

Модель профессиональных компетенций по ПКП

$$k_{li} = \langle substantia, estimation \rangle | estimation > 0, M_{ПКП} \neq \emptyset, \quad (6)$$

$$\text{т. е. } \exists k_{li} \in M_{ПКП}, estimation_{k_{li}} > 0$$

В автоматизированных УТС удобно оперировать интегральными числовыми характеристиками. Интегральная оценка ПКП учитывает необходимость освоения компетенций обучаемым, не ниже требуемого априорного уровня. Для определения интегральной оценки ПКП мощностью n компетенций может применена метрика d [29]:

$$d(E_n, E_{l_n}) = \left(\prod_{i=1}^n \frac{E_i + E_{l_i} - A_i \sqrt[3]{|E_i^3 - E_{l_i}^3|}}{2E_{l_i}} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad A_i = \begin{cases} 1, E_i < E_{l_i} \\ 0, E_i \geq E_{l_i} \end{cases} \quad (7)$$

где:

E_i – уровень освоения i -ой профессиональной компетенции – $estimation_{k_i}$;

E_{l_i} – минимально необходимый уровень освоения i -ой профессиональной компетенции – $estimation_{k_{li}}$.

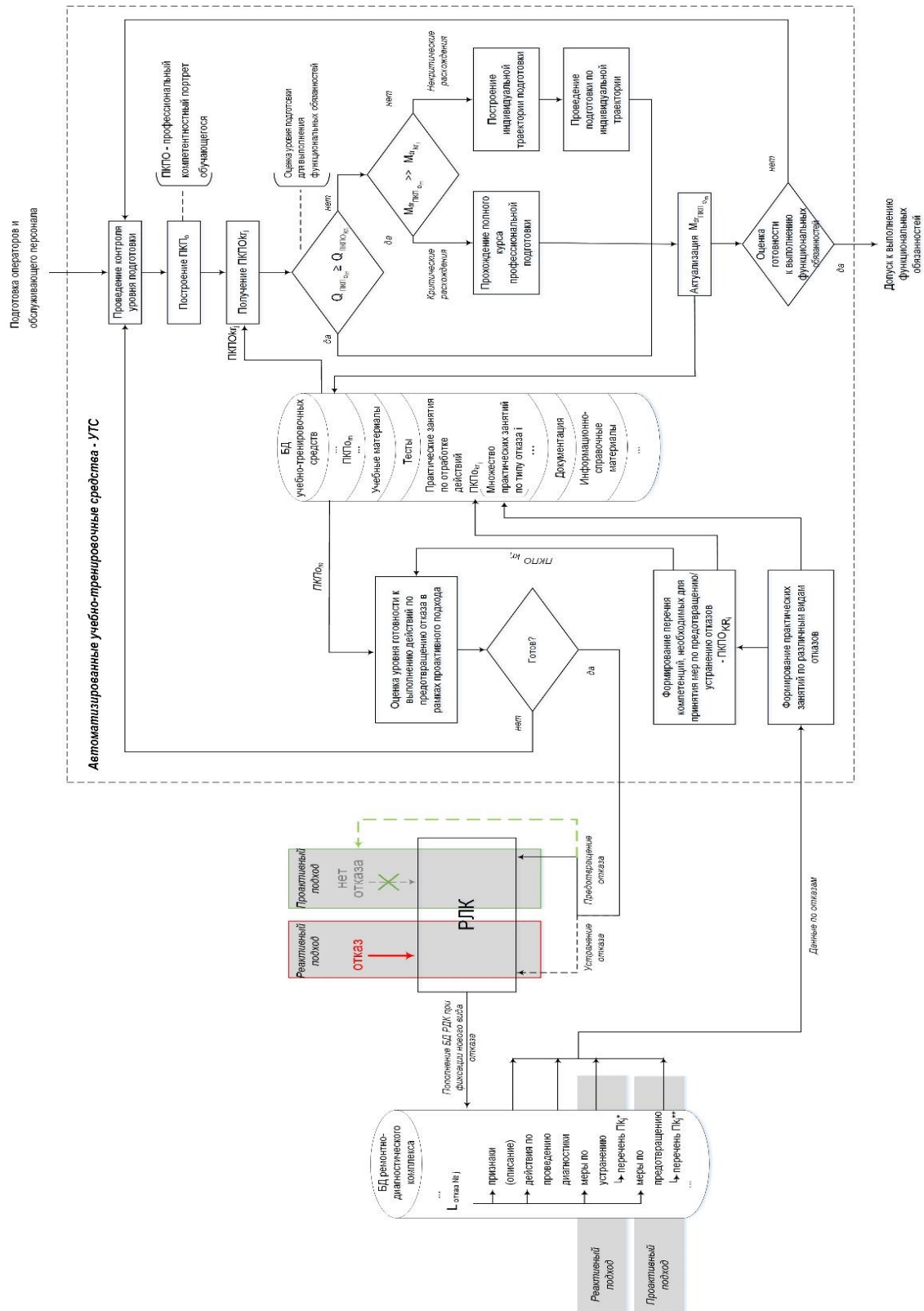


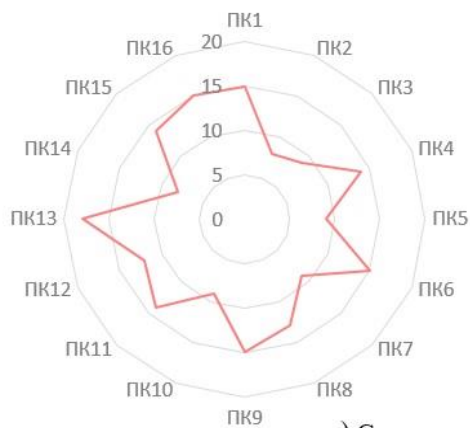
Рисунок 1 – Схема применения автоматизированных учебно-тренировочных средств в режимах реактивного и проактивного управления РЛК
Figure 1 – The scheme of application of automated training tools in the modes of reactive and proactive control of the RLC

Приведенная интегральная оценка эффективно нивелирует случаи, характеризующиеся отсутствием корреляции значений ПКП и ПКПО_{РЛК}, т. е. недостаточностью уровня

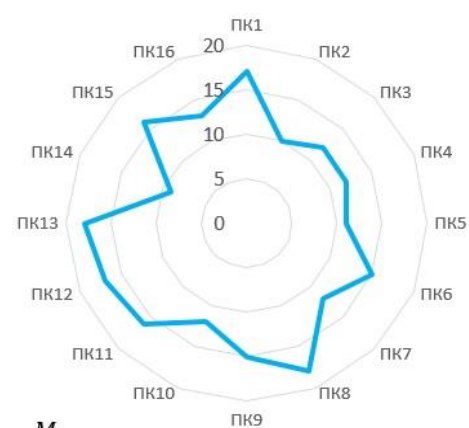
освоения одних компетенций с одновременным значительным превышением уровня освоения других.

Результативность использования автоматизированных УТС применительно к задачам проактивного управления можно продемонстрировать при помощи распространенного метода графического анализа лепестковых диаграмм компетенций [30], основанного на графической визуализации численных показателей освоения компетенций. Хотя этот метод и не применяется для автоматизированного анализа, все же позволяет наглядно представить уровень освоения ряда компетенций ПКП обучающегося относительно ПКПО_{РЛК}. На Рисунке 2 приведен пример, когда $M_{ПКП}$ обучающегося не соответствует требованиям $M_{ПКПО_{РЛК}}$. В примере, приведенном на Рисунке 3, показан результат после подготовки с применением автоматизированных УТС – $M'_{ПКП}$ удовлетворяет требованиям $M_{ПКПО_{РЛК}}$.

а) $M_{ПКП}$



б) $M_{ПКПО_{РЛК}}$



в) Соотношение $M_{ПКП}$ и $M_{ПКПО_{РЛК}}$

в целом **не обеспечивает** реализацию эффективного проактивного управления РЛК

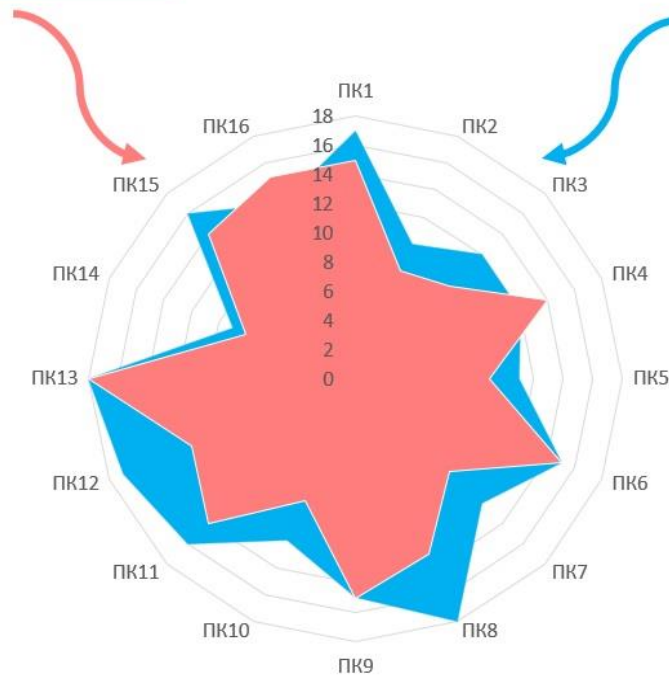


Рисунок 2 – Лепестковые диаграммы $M_{ПКП}$ и $M_{ПКПО_{РЛК}}$

Figure 2 – Petal Charts $M_{ПКП}$ and $M_{ПКПО_{РЛК}}$

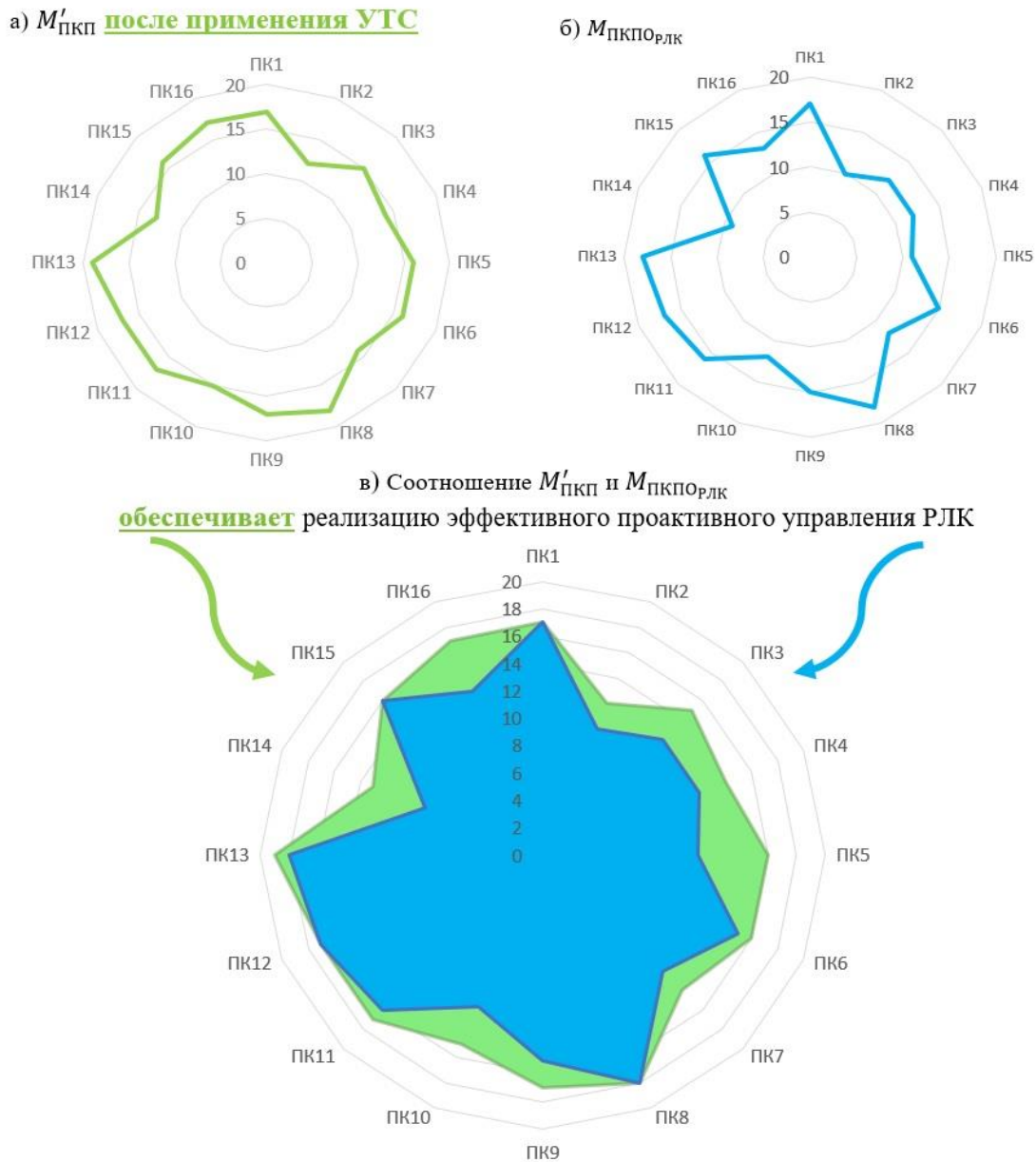


Рисунок 3 – Лепестковые диаграммы $M_{ПКП}$ и $M_{ПКПОРЛК}$

Figure 3 – Petal Charts $M_{ПКП}$ and $M_{ПКПОРЛК}$

На основании полученных результатов можно сделать вывод о необходимости применения автоматизированных учебно-тренировочных средств, комплексированных с системами технического и функционального контроля радиолокационного комплекса, для достижения заданного уровня вероятности выполнения задач РЛК по назначению.

Заключение

В работе рассмотрена проблема влияния уровня подготовки операторов и обслуживающего персонала на обеспечение эффективности применения проактивного управления функциональными характеристиками радиолокационного комплекса. Проанализировано современное состояние построения автоматизированных обучающих средств и способов оценки уровня подготовки специалистов. Выявлены проблемные

вопросы, связанные с необходимостью применения количественной оценки уровня подготовки с дифференцирующей способностью, обеспечивающей требуемую точность оценок. Сформулирована задача обеспечения боеготовности радиолокационного комплекса. Введены понятия профессионального компетентного портрета оператора и эталонного профессионального компетентного портрета, описывающего необходимый и достаточный набор компетенций, требуемый оператору для своевременного и эффективного управления и применения радиолокационного комплекса. Описана информационная модель профессионального компетентного портрета, предложена метрика расчета количественной интегральной оценки уровня его сформированности. Определена потребность в разработке взаимосвязанных моделей адаптивного процесса обучения на базе компетентного подхода, способов получения объективных количественных оценок и комплексировании с системами технического и функционального контроля, а также ремонтно-диагностического комплекса. Выявлена возможность применения их как непосредственно по назначению, так и в качестве источников Big Data, позволяющих решить задачи прогнозирования изменения технического состояния аппаратно-программных средств и эффективности работы операторов и обслуживающего персонала в процессе проактивного управления радиолокационным комплексом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Боев С.Ф. Управление рисками проектирования и создания радиолокационных станций дальнего обнаружения. М.: Изд-во Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана; 2017. 430 с.
2. Григоров С.Ю., Лебедев В.В., Казьменко А.В., Митрофанова С.В. Прогнозирование технического состояния объекта с учетом стратегии технического обслуживания при эксплуатации сложных технических систем с периодическим контролем. *Воздушно-космические силы. Теория и практика. Эксплуатация и восстановление вооружения и военной техники, техническое обеспечение*. 2018;(8):108–118.
3. Труханов В.М., Матвеев А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла. 2-е изд. 2016. 664 с.
4. Осипов А.В., Тимошенко А.В., Перлов А.Ю., Львов К.В. Интеллектуальная система поддержки функциональных характеристик РЛК мониторинга на основе прогнозирования отказов. *Вычислительные технологии*. 2020;25(6):95–103.
5. Гордиевская К.Ю., Халимов Д.Н., Горбенко О.Н., Рожкова А.А. Анализ методов для прогнозирования состояния технического оборудования. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2014;4(7). Доступно по: https://moit.vvt.ru/wp-content/uploads/2015/01/GordievskayaSoavtori_4_14_2.pdf (дата обращения: 25.08.2021).
6. Охтилев М.Ю., Мустафин Н.Г., Миллер В.Е., Соколов Б.В. Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014;57(11):7–15.
7. Кофнов О.В., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Трефилов П.М. Специальное модельно-алгоритмическое и программное обеспечение проактивного управления групповым поведением робототехнических средств. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2021:138–149.
8. Слуцкий К.А., Стариков Н.Е., Богомолов С.Н. Математическая модель оценки боеготовности вооружения боевой машины. *Известия ТулГУ. Технические науки. Военно-специальные науки*. 2017:265–274.

9. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2014;12–16.
10. Изергина А.Р. Обзор статистических методов оценки надежности. *Материалы XII Всероссийская научно-практическая конференция ММСЭП МАиСЭМ*. 2018;45-50.
11. ГОСТ РВ 0027-012-2009 Надежность военной техники. Планы испытаний для оценки вероятности безотказной работы.
12. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
13. Львович К.И., Преображенский Ю.П. Алгоритмизация принятия решений при управлении образовательной системой дуального обучения персонала инфокоммуникационных комплексов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(2). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/LvovichK_PrebrazhenskyY_2_20_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2020.29.2.026 (дата обращения: 25.08.2021).
14. Соколова Е.С., Разинкин К.А. Алгоритмизация мультиагентного обучения с подкреплением в теоретико-игровых задачах поиска оптимальных стратегий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(1). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/SokolovaSoavtori_1_20_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2020.28.1.040 (дата обращения: 25.08.2021).
15. Даценко Н.В., Горбатенко С.А, Горбатенко В.В. Адаптивная автоматизированная система как средство дифференциации обучения при подготовке специалистов в области информационных технологий. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(2). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/05/DatsenkoSoavtori_2_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25. 2.007 (дата обращения: 25.08.2021).
16. Меньших В.В. Середя Е.Н. Модель и алгоритм оптимизации выбора направлений подготовки при многоцелевом обучении. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;4(19). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/10/MenshikhSereda_4_1_17.pdf (дата обращения: 23.08.2021).
17. Эббингауз Г. Очерки психологии. Перевод 3-го немецкого издания под редакцией Поварина К.И. 1911. 242 с.
18. Приказ Министра обороны Российской Федерации № 670 от 15 сентября 2014 г. «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г.» № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
19. Евтихов О.В. Формирование профессиональной компетенции курсантов в образовательной среде ВУЗа правоохранительных органов. Диссертация на соискание ученой степени доктора педагогических наук. 2015. 424 с.
20. Вербицкий А.А. Компетентностный подход и теория контекстного обучения: *Материалы к четвертому заседанию методологического семинара 16 ноября 2004 г.* 2004. 84 с.
21. Лепешкова Ж.В. Формирование общих и профессиональных компетенций. *Образовательная социальная сеть*. Доступно по: <https://nsportal.ru> (дата публикации: 26.10.2020).
22. Зеер Э.Ф. Модернизация профессионального образования: компетентностный подход. *Образование и наука*. 2004;3(27):42–53.
23. Бушмакина Н.С. Проектирование многоуровневых оценочных средств для диагностики качества инженерно-графической подготовки студентов в техническом ВУЗе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук. 2016. 24 с.

24. Спенсер Л.М., Спенсер С.М. Компетенции на работе. 2005. 371 с.
25. Прохорова М.В., Ежова А.С. Сравнительный анализ методов разработки моделей компетенций. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2012;63–71.
26. Лезина Т.А., Хорошева Т.А., Коростылева А.В. Цифровой след как инструмент оценки компетенций: кейс компании «Газпром нефть». *PROНефть. Профессионально о нефти*. 2021;2(20):91–98.
27. Коборов В.Б., Кочуров Б.И. Теория и практика экспертных методов. 2021. 281 с.
28. Григан А.М. Управленческая диагностика: теория и практика: Монография. 2009. 316 с.
29. Харебин Д.А., Пашков Д.М. Исследование методов решения задачи интегральной оценки освоения учебных дисциплин на базе компетентностного подхода *Материалы XXXVIII Всероссийской НТК, филиал ВА РВСН (г. Серпухов)*. 2019:120–127.
30. Копылов А. Применение матрицы и диаграммы компетенций. *Сообщество IT-специалистов*. Доступно по: <https://habr.com/ru/post/443162/> (дата публикации: 10.03.2019).

REFERENCES

1. Boev S.F. Upravlenie riskami proektirovaniya i sozdaniya radiolokatsionnykh stantsii dal'nego obnaruzheniya; 2017. 430 p. (In Russ.)
2. Grigorov S.Yu. Lebedev V.V., Kazmenko A.V., Mitrofanova S.V. Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya ob"ekta s uchetom strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem s periodicheskim kontrolem. *Vozdushno-kosmicheskiye sily. Teoriya i praktika. Ekspluatatsiya i vosstanovleniye vooruzheniya i voyennoy tekhniki, tekhnicheskoye obespecheniye = Aerospace forces. Theory and practice. Operation and restoration of weapons and military equipment, technical support*. 2018;(8):108–118. (In Russ.)
3. Trukhanov V.M., Matveenko A.M. Nadezhnost' slozhnykh sistem na vsekh etapakh zhiznennogo tsikla. 2nd ed. 2016. 664 p. (In Russ.)
4. Osipov A.V., Timoshenko A.V., Perlov A.Yu., Lviv K.V. Intellektual'naya sistema podderzhki funktsional'nykh kharakteristik RLK monitoringa na osnove prognozirovaniya otkazov. *Vychislitel'nyye tekhnologii = Computing technologies*. 2020;25(6):95–103. (In Russ.)
5. Gordievskaya K.Yu., Khalimov D.N., Gorbenko O.N., Rozhkova A.A. Analiz metodov dlya prognozirovaniya sostoyaniya tekhnicheskogo oborudovaniya. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies*. 2014;4(7). Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/01/GordievskayaSoavtori_4_14_2.pdf (accessed 25.08.2021). (In Russ.)
6. Okhtilev M.Yu., Mustafin N.G., Miller V.E., Sokolov B.V. Kontseptsiya proaktivnogo upravleniya slozhnymi ob"ektami: teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye = Proceedings of higher educational institutions. Instrumentation*. 2014;57(11):7–15. (In Russ.)
7. Kofnov O.V., Shaken S.A., Sokolov B.V., Trefilov P.M. Spetsial'noe model'no-algoritmicheskoe i programmnoe obespecheniye proaktivnogo upravleniya gruppovym povedeniem robototekhnicheskikh sredstv. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. = Izvestia of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2021:138–149. (In Russ.)

8. Slutsky K.A., Starikov N.E., Bogomolov S.N. Matematicheskaya model' otsenki boegotovnosti vooruzheniya boevoi mashiny. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. Voyenno-spetsial'nyye nauki = Izvestiya TulSU. Technical sciences. Military-special sciences.* 2017:265–274. (In Russ.)
9. Belov O.A. Otsenka tekhnicheskoi gotovnosti sistemy s uchetom vliyaniya chelovecheskogo faktora. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kamchatka State Technical University.* 2014:12–16. (In Russ.)
10. Izergina A.R. Obzor statisticheskikh metodov otsenki nadezhnosti. *Materialy XII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya MMSEP MAiSEM = XII All-Russian Scientific and Practical Conference of the MMSEP MAiSEM.* 2018:45-50. (In Russ.)
11. GOST RV 0027-012-2009 Reliability of military equipment. Test plans to assess the probability of failure-free operation. (In Russ.)
12. Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 «On Education in the Russian Federation». (In Russ.)
13. Lvovich K.I., Preobrazhensky Y.P. Algoritmizatsiya prinyatiya reshenii pri upravlenii obrazovatel'noi sistemoi dual'nogo obucheniya personala infokommunikatsionnykh kompleksov. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies.* 2020;8(2). Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/LvovichK_PreobrazhenskyY_2_20_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2020.29.2.026 (accessed 25.08.2021). (In Russ.)
14. Sokolova E.S., Razinkin K.A. Algoritmizatsiya mul'tiagentnogo obucheniya s podkrepleniem v teoretiko-igrovyykh zadachakh poiska optimal'nykh strategii. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies.* 2020;8(1). Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/SokolovaSoavtori_1_20_1.pdf DOI:10.26102/2310-6018/2020.28.1.040 (accessed 25.08.2021). (In Russ.)
15. Datsenko N.V., Gorbatenko S.A., Gorbatenko V.V. Adaptivnaya avtomatizirovannaya sistema kak sredstvo differentsiatsii obucheniya pri podgotovke spetsialistov v oblasti informatsionnykh tekhnologii. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies.* 2019;7(2). Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/05/DatsenkoSoavtori_2_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25. 2.007 (accessed 25.08.2021). (In Russ.)
16. Menshikh V.V. Sereda E.N. Model' i algoritm optimizatsii vybora napravlenii podgotovki pri mnogotselevom obuchenii. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies.* 2017;4(19). Available at: https://moit.vivt.ru/wpcontent/uploads/2017/10/MenshikhSereda_4_1_17.pdf (accessed 23.08.2021). (In Russ.)
17. Ebbinghaus G. Essays of psychology. Translation of the 3rd German edition edited by K.I. Povarin; 1911. 242 p. (In Russ.)
18. Order of the Minister of Defense of the Russian Federation No. 670 of September 15, 2014 «On measures to implement certain provisions of Article 81 of Federal Law No. 273-FZ of December 29, 2012» «On Education in the Russian Federation». (In Russ.)
19. Evtikhov O.V. Formirovaniye professional'noi kompetentsii kursantov v obrazovatel'noi srede VUZa pravookhranitel'nykh organov. *Dissertation for the degree of Doctor of Pedagogical Sciences.* 2015. 424 p. (In Russ.)

20. Verbitsky A.A. Kompetentnostnyi podkhod i teoriya kontekstnogo obucheniya: *Materials for the fourth meeting of the methodological seminar on November 16, 2004-Moscow: Research Center for Quality Problems of Training specialists*. 2004. 84 p. (In Russ.)
21. Lepeshkova Zh.V. Formirovanie obshchikh i professional'nykh kompetentsii. *Obrazovatel'naya sotsial'naya set' = Educational social network*. Available at: <https://nsportal.ru> (accessed 26.10.2020). (In Russ.)
22. Zeer E.F. Modernizatsiya professional'nogo obrazovaniya: kompetentnostnyi podkhod. *Obrazovaniye i nauka = Education and science*. 2004;3(27):42–53. (In Russ.)
23. Bushmakina N.S. Proektirovanie mnogourovnevnykh otsenochnykh sredstv dlya diagnostiki kachestva inzhenerno-graficheskoi podgotovki studentov v tekhnicheskome VUZe. = *Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of pedagogical Sciences*. 2016:24. (In Russ.)
24. Spencer L.M., Spencer S.M. Kompetentsii na rabote. 2005:371. (In Russ.)
25. Prokhorova M.V., Yezhova A.S. Sravnitel'nyi analiz metodov razrabotki modelei kompetentsii. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo = Bulletin of the Lobachevsky Nizhny Novgorod University*. 2012:63–71. (In Russ.)
26. Lezina T. A., Khorosheva T. A., Korostyleva A.V. Tsifrovoy sled kak instrument otsenki kompetentsii: keis kompanii «Gazprom neft». *PRONeft'. Professional'no o nefi = Proneft. Professionally about oil* 2021;2(20):91–98. (In Russ.)
27. Koborov V.B., Kochurov B. I. Teoriya i praktika ekspertnykh metodov. 2021. 281 p. (In Russ.)
28. Grigan A.M. Upravlencheskaya diagnostika: teoriya i praktika: Monograph. 2009. 316 p. (In Russ.)
29. Kharebin D.A., Pashkov D.M. Issledovanie metodov resheniya zadachi integral'noi otsenki osvoeniya uchebnykh distsiplin na baze kompetentnostnogo podkhoda. *Materialy XXXVIII Vserossiyskoy NTK, filial VA RVSN (g. Serpukhov) = XXXVIII All-Russian STC, branch of the VA RVSN (Serpukhov)*. 2019:120–127. (In Russ.)
30. Kopylov A. Primenenie matritsy i diagrammy kompetentsii. *Soobshchestvo IT-spetsialistov = Community of IT specialists*. Available at: <https://habr.com/ru/post/443162/> (accessed 10.03.2019). (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тимошенко Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация.

e-mail: u567ku78@gmail.com
ORCID: [0000-0002-9791-142X](https://orcid.org/0000-0002-9791-142X)

Alexander V. Timoshenko, Doctor of Technical Science, Professor Of Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation.

Осипов Александр Владимирович, Акционерное общество «Ремвооружение», Москва, Российская Федерация.

e-mail: s-ash@mail.ru

Alexander V. Osipov, Joint-stock company “Remvoorujenie”, Moscow, Russian Federation.

Харевин Денис Александрович, ведущий инженер, Акционерное общество «РТИ», Москва, Российская Федерация.

e-mail: dharebin@aorti.ru
ORCID: [0000-0003-3317-4528](https://orcid.org/0000-0003-3317-4528)

Denis A. Kharebin, lead engineer, Joint-stock company “RTI”, Moscow, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 01.09.2021; одобрена после рецензирования 09.10.2021;
принята к публикации 14.10.2021.

The article was submitted 01.09.2021; approved after reviewing 09.10.2021;
accepted for publication 14.10.2021.