

На правах рукописи



Власов Николай Николаевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ
И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ
ЭКИПАЖЕЙ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК**

Специальность 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Рязань – 2021

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»

Научный руководитель: **Белов Владимир Викторович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной и прикладной математики в ФГБОУ «РГРТУ имени В.Ф. Уткина»

Официальные оппоненты: **Никутьчев Евгений Витальевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интеллектуальных систем информационной безопасности «МИРЭА – Российский технологический университет»

Андрийчук Валерий Павлович
доктор военных наук, профессор, профессор кафедры ФГКВОУ ВО «МВАА»

Ведущая организация: **ФГБУ «3 Центральный научно-исследовательский институт», г. Москва**

Защита диссертации состоится «15» апреля 2021 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.02 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» и на сайте <http://www.rsreu.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.02,
доктор технических наук, доцент



Перепелкин
Дмитрий Александрович

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В условиях реформирования ВС ужесточаются требования не только к количественным и качественным параметрам этого оружия, но и к уровню обученности специалистов, которые будут его эксплуатировать. Очевидно, что создание системы боевой подготовки подразделений, частей и соединений, вооруженных РК, возможно лишь при условии широкого использования тренажерных средств. Только они смогут обеспечить формирование управляемой учебно-информационной среды и обучение на ее основе боевых расчетов в условиях адекватных реальным, а также проведение тренировок с периодичностью, позволяющей поддерживать приобретенные навыки боевой работы на требуемом уровне. Однако для этого тренажерные средства должны разрабатываться и использоваться не отдельно друг от друга, а как целостные тренажерные системы (ТС). Тренажерные системы – это совокупность тренажерных средств и тренажерных комплексов, обеспечивающих возможность решения множества задач боевой подготовки, каждый элемент которой направлен на достижение главной цели – обеспечение требуемого уровня обученности боевых расчетов. При этом обязательными элементами ТС, обеспечивающими управляемый процесс корректировки качества операторской деятельности, должны являться системы объективного контроля и автоматизированной оценки, фиксирующие результаты деятельности боевых расчетов, обрабатывающие эти результаты и хранящие данные о результатах для прогнозирования, динамики их изменения и принятия решения на управляющие воздействия руководителем, при планировании обучения и выборе оптимальной методики проведения обучения.

В современных условиях, характеризующихся высокими темпами внедрения новых информационных технологий, вызвавших глубокие качественные изменения в военном деле, заметно возросло значение научного подхода к решению проблем тренажеростроения и применения ТС.

Поэтому создание методов и алгоритмов управления и поддержки принятия решения в распределенных системах тренажеров изделий является особо актуальной задачей.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности процесса обучения экипажей пусковых установок оперативно-тактического ракетного комплекса «Искандер-Э» за счет создания теоретических и программных средств поддержки управления процессом обучения в условиях строгих требований к быстродействию и верности решения поставленных задач.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- провести анализ существующих ТС и определить вектор развития перспективных тренажерных систем, определить необходимость создания тренажера с возможностью решения задач управления и принятия управленческого решения;
- обосновать и определить принципы разрабатываемой системы, и на этой основе сформировать основные постулаты построения программного обеспечения тренажера 9Ф694-Э;
- разработать эталонную модель, на ее основе создать модель и алгоритм контроля и принятия оперативного управленческого решения, в процессе обучения реализуемого программным обеспечением системы тренажера 9Ф694-Э.
- сформулировать принципиальные положения по организации хранения данных;

- создать методику планирования учебного процесса, управления и поддержки принятия решений в процессе обучения;
- протестировать разработанную модель и алгоритмы работы тренажера 9Ф694-Э.

Объект исследования – процесс обучения экипажей пусковых установок оперативно-тактического ракетного комплекса.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы решения задач управления и принятия решений в системе обучения экипажей пусковых установок, а также алгоритмы и модели работы системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в тренажере 9Ф694-Э, важнейшей подсистемы (самоходной пусковой установки) комплекса ОТРК «Искандер-Э».

Теоретической основой исследования явились труды отечественных, зарубежных ученых и специалистов в области систем управления и поддержки принятия решений в обучении и в тренажерных системах: Дроздовой А.А., Кулида Е.Л., Дозорцева В.М., Глущенко А. И., В.Н. Захарова, В.Е. Шукшунова, Д.А. Поспелова и других. Отдельные аспекты моделирования процессов управления и разработки тренажерных систем рассмотрены в научных трудах зарубежных ученых: Дж. Гибсона, Т. Уайтина, Р. Бандела, Дж. Хелли, А. Прекопа, Е. Харольда, П. Друкера, Д. Форрестера, М. Мексона, В. Хонкампа, У. Эшби и других.

Основные научные результаты и новизна исследования заключаются в создании методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в системе обучения экипажей пусковых установок, а также алгоритмы и модели работы системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э.

Основными научными результатами исследования являются:

- принципы построения сложной модели распределенной системы тренажера 9Ф694-Э, являющиеся оригинальными и сформулированные впервые;
- методы и алгоритмы управления и принятия решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э;
- эталонная модель и созданная на ее основе модель системы контроля и принятия оперативного управленческого решения в процессе обучения;
- методика поддержки принятия управленческих решений, основанная на определении оценки верности и оперативности выполненных работ каждого обучаемого и экипажа в целом.
- система правил принятия оперативного управленческого решения по выбору выполняемых задач в процессе обучения на основе контролируемых показателей качества работы экипажа.

Новизна полученных результатов заключается в следующем:

- принципы построения сложной модели распределенной системы тренажера 9Ф694-Э являются оригинальными и могут быть применены для новых типов ОТРК;
- разработанные методы и алгоритмы решения задач управления и принятия решений в системе обучения экипажей пусковых установок увеличивают эффективность обучения;
- эталонная модель тренажера, а также основанная на ней модель и алгоритм программного обеспечения системы контроля и принятия оперативного управленческого решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э отличаются следующим:

1 Представленная модель и алгоритм разработаны в соответствии с требованием обеспечения возможности имитации основных ситуаций, возникающих в условиях реальной эксплуатации пусковой установки 9П78-1-Э;

2 Выполнение указанного требования позволило разработать программное обеспечение, охватывающее наиболее широкий спектр профессиональных вопросов обучения и поддержания навыков экипажей на высоком профессиональном уровне;

3 Разработанная модель обучения и созданное на её основе программное обеспечение могут служить прототипом при создании тренажеров пусковых установок иных вариантов исполнения ОТРК.

– методика поддержки принятия управленческих решений, основанная на определении оценки верности и оперативности выполненных работ, отличается следующим:

а) оценивание результатов работы членов экипажа в отдельности и всего экипажа в целом осуществляется на основе экспертных оценок значимости (важности) операций, выполняемых в процессе решения поставленной задачи;

б) уровень значимости операций рассматривается как количественное выражение потенциальной детриментальности (негативных последствий) ошибок в процессе выполнения этих операций;

в) оценивание результатов работы на тренажере осуществляется по двум аспектам: оцениваются верность (правильность) и оперативность выполнения операций при решении поставленной задачи, в результате формируются векторные двухкомпонентные оценки;

г) вычисление значений оценок верности и оперативности выполнения операций задачи осуществляется по предлагаемым оригинальным формулам, учитывающим уровень значимости операций и нормативное время на их выполнение;

д) помимо векторных оценок верности и оперативности осуществляется формирование итоговой скалярной оценки в количественном и качественном (вербальном) представлении;

е) оценивание качества работы (по сути, выполнения боевой задачи) осуществляется как для каждого члена экипажа в отдельности, так и для всего экипажа в целом.

– разработано программное обеспечение системы контроля и принятия управленческих решений тренажера изделия 9П78-1-Э на основе разработанных моделей.

Практическую значимость исследования представляют методика оценки качества работы обучаемых на тренажере 9Ф694-Э, методика и алгоритм управления и поддержки принятия решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э, модель работы тренажера 9Ф694-Э, а также разработанное программное обеспечение системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э:

– предстартовые операций по проверке и подготовке изделий к применению выполняемые расчетом в кабине изделия;

– операции перевода изделия из одной степени готовности в другую и обратно, выполняемые расчетом в кабине;

– применение изделий одиночных и залпом как из кабины, так и с выносного пульта;

- действия в условиях возникновения неисправностей, предусмотренных в эксплуатационной документации;
- контроль и оценка деятельности обучаемых в процессе тренировки;
- автоматическая оценка результатов работы обучаемых при выполнении режимов «экзамен» или «обучение»;
- документирование результатов обучения;
- планирование учебного процесса в зависимости от результатов обучения;
- программное обеспечение использовано на практике для подготовки экипажей пусковой установки в Михайловской ВАА г. Санкт-Петербург.

Область исследования соответствует по своему содержанию паспорту научной специальности 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах» в рамках: п.4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; п.5. «Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах», п.7. «Разработка методов идентификации в организационных системах на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации», п.10. «Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах», п.12. «Разработка новых информационных технологий в решении задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах».

Результаты исследования апробированы и приняты к внедрению в АО «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения» (Московская обл., г. Коломна), Михайловская военная артиллерийская академия (г. Санкт-Петербург), Центральное конструкторское бюро «Титан» (г. Волгоград), АО Научно-исследовательский институт технических систем «Синвент» (г. Санкт-Петербург).

Разработанная автором методика оценки верности и оперативности выполнения операций на тренажере 9Ф694-Э зарегистрирована как программа для ЭВМ «Журнал данных. Вычисление оценок качества работы обучаемых с отображением динамики обучения групп», зарегистрирована в Федеральном институте промышленной собственности.

Отдельные положения диссертации докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях. Новые информационные технологии в научных исследованиях (Коломна, РГРТУ, 2018), 4-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы» (Коломна, КИ(ф)МПО, 2017), 22-й Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов (Рязань, РГРТУ, 2017), школа-семинар «Задачи системного анализа, управления и обработка информации» (Москва, ПИ РАО, 2019).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликованы 10 авторских работ, общим объемом 11 п.л. (личный вклад автора – 6,05 п.л.), из них: 5 публикаций в рецензируемых ВАК изданиях, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (107 наименований) и приложений. Объем основной части работы (без приложений) – 147 стр. Диссертация содержит 56 рис. и 19 табл.

Положения, выносимые на защиту:

- модель работы системы контроля и принятия оперативного управленческого решения в процессе обучения тренажера изделия 9Ф694-Э;
- алгоритм и методика поддержки принятия управленческих решений, основанная на определении оценки верности и оперативности выполненных операций каждого обучаемого и экипажа в целом;
- методика принятия управленческих решений в отношении обучаемого экипажа и плана повторного обучения экипажа на тренажере 9Ф694-Э;
- система правил принятия оперативного управленческого решения по выбору выполняемых задач в процессе обучения на основе контролируемых показателей качества работы экипажа;
- программное обеспечение системы контроля и принятия оперативного управленческого решения в процессе обучения – основная составная часть тренажера изделия 9П78-1-Э, на основе разработанной модели.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, определены объект, предмет исследования, определена степень изученности проблемы, практическая значимость проблемы.

В первой главе диссертации проведен анализ схем построения учебно-тренировочных средств, определена область их применения. Определено, что использование учебно-тренировочных средств при организации боевой подготовки приобрело новую актуальность. В ходе применения санкций на российский сектор ВПК, министерство обороны Российской Федерации требует одновременной разработки учебно-тренировочных средств с новыми видами вооружения. Своеобразный «тренажерный бум» связан, прежде всего, с тем фактом, что в начале 2000-х годов на рынке появились тренажеры нового поколения, которые изменили представление о возможности и роли виртуального обучения управлению сложной военной техникой. В течение двух последних лет набирала обороты тенденция к увеличению заказов на закупки новых самоходных пусковых установок, что в свою очередь оживило рынок учебно-тренировочных средств для этих видов оружия.

Важно отметить, что одним из основных условий выполнения боевых задач подразделениями является обеспечение требуемого качества деятельности обучаемых. При этом спецификой их деятельности является то, что ее основное содержание – выполнение множества операций во всех режимах боевой работы. А, соответственно, требуемое качество этой деятельности должно обеспечивать навыки по выполнению всего множества операций боевой работы.

Определены основные критерии, для создания тренажера 9Ф694-Э:

- 1) объективный оперативный (gun-time) контроль текущих действий экипажа и отдельных его членов;
- 2) показатели качества выполнения операций/задач как отдельными номерами расчетов, так и экипажем боевой машины в целом;
- 3) систему правил принятия оперативного управленческого решения по выбору выполняемых задач в процессе обучения на основе контролируемых показателей качества работы экипажа;
- 4) методику автоматического принятия решений по квалификации обучаемых на основе контролируемых показателей качества работы экипажа как в процессе обучения, так и при сдаче экзамена;

5) методику принятия управленческих решений в отношении обучаемого экипажа и плана повторного обучения;

б) разработка системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения.

Во второй главе создана эталонная модель выполнения задач на тренажере. Разработанная эталонная модель (Рисунок 1а) легла в основу модели обучения, на рисунке 1б представлена основная диаграмма деятельности внедренной модели обучения в СК и ПОУР. Представленная диаграмма деятельности включает принятие управленческих решений по выбору необходимых задач для обучения, по экипажу и определению необходимости повторного обучения. Модель обучения помогает организовать процесс обучение в соответствии с современными требованиями динамических учебно-тренировочных средств (УТС).

В качестве инструмента моделирования при разработке эталонной модели и модели обучения был выбран язык UML.

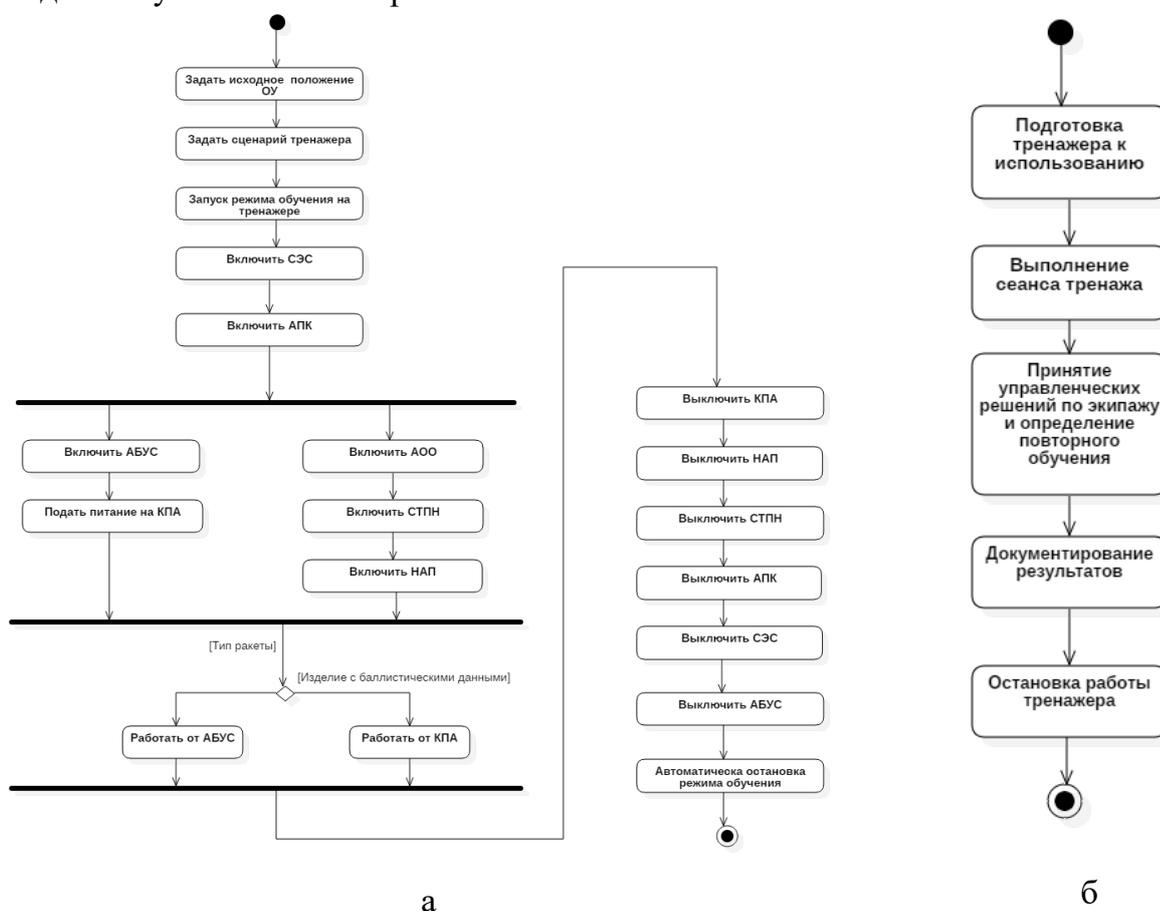


Рисунок 1 – Модели обучения: а – «Эталонная модель»; б – «Диаграмма деятельности модели обучения тренажера 9Ф694-Э».

Разработана информационная модель управления процессом обучения тренажера на основе структур данных. Информационная модель является основой интерфейса взаимодействия СК и ПОУР и имитатором изделия (ИИ) и используется в тренировочных задачах, описанных в следующей главе.

Информационная модель объекта управления в момент времени t_m определяется следующим набором параметров:

$$M(t) = \langle P_k(t_m), T_n(t_m), M_p(t_m), K, W, E_p(t_m), S \rangle.$$

В информационной модели введены следующие обозначения:

$P_k(t_m)$ – значения полетного задания, в момент времени t_m ;

$T_n(t_m)$ – значение текущей задачи, в момент времени t_m ;

$M_p(t_m)$ – значение текущего вида изделия задачи, в момент времени t_m ;

K – количество задействованных изделий;

W – тип заданной погоды;

$E_p(t_m)$ – количество неисправностей, заданных в момент времени;

S – ускоренный режим.

Модель обучения позволяет автоматизировать обучение для хорошо изученных операций, когда можно сформировать функцию завершения каждого шага создаваемого тренировочного сценария.

Благодаря тому, что эталонная модель легко модифицируется, она может быть применима для новых типов ОТРК.

В модели обучения заложена логика, определения значимостей операций.

Уровень значимости каждой операции определяется посредством экспертного оценивания – формируется таблица уровней значимости операций в задаче.

Структура формируемой таблицы представлена таблицей 1.

Таблица 1 – Структура таблицы уровней значимости операций в задаче

Номер операции в задаче	Степень значимости операции	Блок выполнения операции	Номер члена экипажа
1	L_1	B_1	v_1
2	L_2	B_2	v_2
...
m	L_m	B_m	v_m

В таблице 1 использованы следующие обозначения:

m – количество операций в рассматриваемой задаче; $L_i, i = \overline{1, m}$ – уровень значимости i -й операции, при этом $0 \leq L_i \leq 1$;

$B_i, i = \overline{1, m}$ – название блока, в котором выполняется i -я операция, $B_i \in \{\text{АПК, КПА, ОЭП, СУГП, СТПН}\}$;

$v_i, i = \overline{1, m}$ – номер члена расчета экипажа, выполняющего i -ю операцию, $v_i \in \{1, 2, 3\}$.

Для устранения конкретики использованных экспертами систем баллов и для унификации оценок осуществляется нормализация, – переход от баллов к весовым коэффициентам $w_{i,j}$, обладающим свойствами: $0 \leq w_{i,j} \leq 1$; $\sum_{i=1}^m w_{i,j} = 1$.

Коэффициенты вычисляются по формуле: $w_{i,j} = b_{i,j} / \sum_{i=1}^m b_{i,j}$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$

В результате вычислений формируется таблица полностью аналогичная таблице 1, но вместо баллов $b_{i,j}$ в ней размещаются веса $w_{i,j}$.

В режиме проверки знаний программа СК и ПОУР, по результату выполнения сценария, генерирует оценку по верности и оперативности выполненных работ как каждого обучаемого, так и экипажа в целом.

Оценка верности работы i -го обучаемого вычисляется по формуле:

$$M_i = \left(1 - \frac{\sum_{j \in J_i} \delta_j L_j}{\sum_{j \in J_i} L_j} \right) 100 \%,$$

где $J_i = \{j_1, j_2, \dots, j_{m_i}\}$ – множество номеров операций, выполненных i -м членом экипажа; m_i – количество операций, выполненных i -м членом экипажа;

L_j – уровень значимости j -й операции; δ_j – признак ошибки при выполнении j -й операции:

$$\delta_j = \begin{cases} 0, & \text{если ошибка не допущена;} \\ 1, & \text{если ошибка допущена.} \end{cases}$$

Оценка T_i оперативности работы i -го обучаемого вычисляется по формуле:

$$T_i = \frac{m_i}{\sum_{j \in J_i} f_{\text{clip}}(t_{i,j}^{[\Phi]} / t_j^{[H]})} \cdot 100 \%,$$

где $t_{i,j}^{[\Phi]}$ – фактическое время, затраченное i -м членом экипажа на выполнение j -й операции; $t_j^{[H]}$ – нормативное время выполнения j -й операции; $f_{\text{clip}}(x)$ – функция клиппинга (Рисунок 3), для которой предлагается следующее определение:

$$f_{\text{clip}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \leq 1; \\ x, & \text{если } x > 1. \end{cases}$$

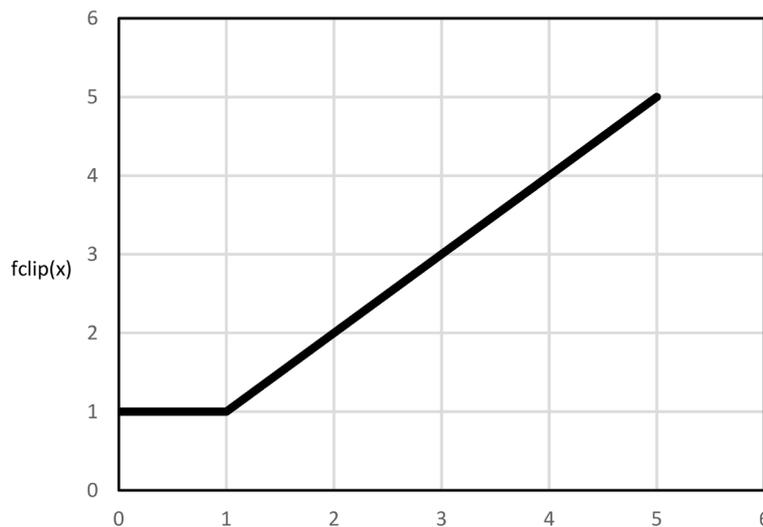


Рисунок 3 – График функции клиппинга относительного времени выполнения операции

Разработанная методика автоматического принятия решений по квалификации обучаемых на основе контролируемых показателей качества интегрирует следующие новые результаты:

1 Установлен факт: последствия от ошибок при выполнении операций боевой задачи самостоятельно значимы и их сопоставление нецелесообразно, поэтому нецелесообразно и оценивание значимости операций парными сравнениями, как нецелесообразно оценивание парными сравнениями знаний обучающихся. Вследствие этого факта принято проектное решение – осуществлять абсолютное оценивание важности отдельных операций. Для этого авторами введено понятие детриментальности ошибок, подлежащих оцениванию экспертами и выражаемых в виде балльных оценок значимости (важности) отдельных операций в составе конкретной боевой задачи.

2 Разработана методика оценивания согласованности мнений экспертов, выраженных балльными оценками качества вариантов, основанная на корректном автоматическом переводе баллов в ранги.

3 Разработан алгоритм корректного отображения балльных оценок в ранговые оценки, позволяющий использовать коэффициент конкордации Кендалла для оценки согласованности мнений экспертов в случае наличия одинаковых оценок значимости у нескольких вариантов (операций).

4 Внесено рациональное предложение – оценивать качество работы обучаемых на тренажере оценками правильности и оперативности выполнения боевой задачи.

5 Предложена частная оценка правильности действий обучаемого и соответствующая оригинальная формула, отображающая факты допущения ошибок при выполнении отдельных операций в стобалльные оценки правильности работы обучаемого на основе оценок значимости операций в рамках конкретной боевой задачи.

6 Предложена частная оценка оперативности действий обучаемого и соответствующая оригинальная формула, отображающая длительности выполнения отдельных операций в стобалльные оценки оперативности работы обучаемого при выполнении конкретной боевой задачи с учетом некомпенсируемости задержек в выполнении одних операций за счет ускоренного выполнения других.

7 Предложена функция клиппинга, позволяющая устранить взаимные компенсации слагаемых при суммировании длительностей выполнения операций.

8 Предложены интегральные оценки качества работы на тренажере как отдельных членов экипажа, так и всего экипажа в целом.

В третьей главе разработана методика управления и поддержки принятия решения в процессе обучения на тренажере 9Ф694-Э. Определены основные процессы в организации управления обучением, разработана схема обучения экипажей ОТРК с помощью тренажёра. Принципиально план обучения представляется в виде кортежа:

$$Plan = \langle Purpose, Tasks, Sequence, Indicators, Formula, Rules, Decision, Scenario \rangle,$$

где *Purpose* – цель обучения;

Tasks – множество задач, подлежащих выполнению во время обучения;

Sequence – целесообразная последовательность выполнения задач;

Indicators – множество показателей (индикаторов), подлежащих контролю во время выполнения задач;

Formulae – множество алгоритмов получения показателей, подлежащих контролю;

Rules – множество управленческих решений, принимаемых в процессе выполнения задач;

Decision – множество правил принятия управленческих решений в процессе выполнения задач

Scenario – сценарий выполнения задач во время обучения.

Разработаны типовые задачи обучения, выделено шесть основных задач, которые охватывают весь процесс обучения на примере тренажера 9Ф694-Э изделия 9П78-1-Э.

T1 – Задача 1. Имитация применения ОТРК из готовности № 1 (ПГ1) с АБУС.

T2 – Задача 2. Имитация применения ОТРК при развертывании с марша (ПГ3) с АБУС.

T3 – Задача 3. Имитация применения ОТРК из готовности №3 (ПГ3) с ПУИ.

T4 – Задача 4. Имитация применения ОТРК из готовности № 2 (ПГ2) с ПУИ.

T5 – Задача 5. Имитация смены готовности.

T6 – Задача 6. Имитация режима марш.

После определения перечня возможных задач разработаны основные управленческие решения, которые определяют ход событий в процессе обучения, при выполнении той или иной задачи.

Определены правила принятия управленческих решений по порядку выполнения задач.

Для большей формализации процесс обучения разделен на два основных этапа: этап обучения и этап экзамена. Оба этапа формализованы в виде автоматов – графов последовательности состояний. Такая формализация создаёт предпосылки для продуктивного перехода к процессному программированию при создании учебно-тренировочных средств, предполагающему использование интерпретаторов графических представлений процессов.

Разработаны автоматы проведения режима «Обучения» и проведения режима «Экзамен».

Автомат выполнения обучения состоит из последовательно выполняемых задач T2, T3, T4, T1, T5, T6 либо T2, T3, T5, T6. Количество выполняемых задач зависит от подготовленности экипажа. Экипажу дается три попытки на каждую задачу. При получении плохих результатов инструктору предлагается заменить весь экипаж, либо некоторых членов экипажа решение принимается непосредственно инструктором.

С целью упрощения реализации интерпретатора формул логики предикатов, определяющих условия вычислительного процесса, предложены специальные дополнения к синтаксису записи этих формул. Предложено использовать специальный префиксный символ # перед скобками, определяющий специальную нотацию или специальный синтаксис элементов формулы в пределах скобок и, соответственно, способ интерпретации этих элементов. Элементы специального синтаксиса таковы:

1) величины (операнды) как буквенные, так и числовые – суть символы суждений о результатах выполнения заданий, т. е. являются пропозициональными величинами с конкретной семантикой;

2) величины в скобках могут иметь два индекса – нижний и верхний; нижний символизирует решаемую задачу, верхний – номер попытки решения задачи;

3) греческие буквы в формулах символизируют значения предикатов, получаемых при подстановке в них конкретных значений переменных – рангов, выставляемых по результатам выполнения тренировочных заданий;

4) числа в формулах символизируют конкретные значения рангов, выставляемых по результатам выполнения тренировочных заданий, например, запись $^{\#}(2_i)$ в классической нотации имеет вид $(r_i = 2)$;

5) перед числовыми операндами могут присутствовать знаки неравенств, например, запись $^{\#}(\geq 2_i)$ в классической нотации имеет вид $(r_i \geq 2)$;

б) запятые в круглых скобках символизируют операцию конъюнкции, поэтому литералы обычно выглядят как перечисления.

В работе определен перечень возможных управленческих решений, на основе которого сформированы основные правила принятия управленческих решений по порядку выполнения задач и квалификации обучаемых.

Применение указанных предложений – одно из средств создания предпосылок для продуктивного перехода к процессному программированию при создании учебно-тренировочных средств, предполагающего создание собственного интерпретатора пропозициональных форм математической логики. Определена специальная нотация для формального представления режимов «Обучение», «Экзамен» и «Отбора экипажа», позволяющая упростить реализацию интерпретаторов реализуемых процессов.

Экипаж признаётся боеспособным, успешно выполнившим задание на тренажёре, если справедливо утверждение:

$$P_{Success} = ^{\#}(\theta_2, 2_3, \theta_4, \theta_1, \theta_5, \theta_6) \oplus ^{\#}(\theta_2, 3_3, \theta_5, \theta_6),$$

где $^{\#}(\theta_2, 2_3, \theta_4, \theta_1, \theta_5, \theta_6)$ – формула со специальным синтаксисом, семантика которой такова: экипаж успешно справился с заданием по схеме $\langle T2, T3, T4, T1, T5, T6 \rangle$, т. е. успешно выполнил задачи, перечисленные в кортеже, при этом за выполнение задачи T3 был выставлен ранг $r_3 = 2$, соответствующий вербальному «хорошо»;

$^{\#}(\theta_2, 3_3, \theta_5, \theta_6)$ – формула со специальным синтаксисом, семантика которой такова: экипаж успешно справился с заданием по схеме $\langle T2, T3, T5, T6 \rangle$, т. е. успешно выполнил задачи, перечисленные в кортеже, при этом за выполнение задачи T3 был выставлен ранг $r_3 = 3$, соответствующий вербальному «отлично»;

$2_3, 3_3$ – соответственно значения формул $r_3 = 2$ и $r_3 = 3$,

$\theta_i, i \in \{2, 4, 1, 5, 6\}$ – значение формулы $\theta_i = ^{\#}(2_i \vee 3_i)$, или в классической нотации $\theta_i = ((r_i = 2_i) \vee (r_i = 3_i))$, означающее, что ранг за выполнение задачи с номером i не меньше двух, т. е. $r_i \in \{2, 3\}$;

Конкретика выполняемой схемы обучения оправляется динамически как результат принятия управленческого решения по результату выполнения задачи T3: если эта задача выполнена хорошо ($r_3 = 2$), то выполняется схема $\langle T2, T3, T4, T1, T5, T6 \rangle$, если T3 выполнена на отлично ($r_3 = 3$), то выполняется схема $\langle T2, T3, T5, T6 \rangle$.

Экипаж признаётся небоеспособным, не сумевшим успешно выполнить задание на тренажёре, если справедливо утверждение:

$$P_{Failure} = \# (\zeta_2 \vee \zeta_3 \vee \zeta_4 \vee \zeta_1 \vee \zeta_5 \vee \zeta_6),$$

где $\zeta_i, i \in \{2, 4, 1, 5, 6\}$ – значение формулы $\zeta_i = \# (0_i \vee 1_i)$, или в классической нотации $\zeta_i = ((r_i = 0_i) \vee (r_i = 1_i))$ означающее, что $r_i \in \{0, 1\}$, т. е. за выполнение задачи с номером i выставлен ранг ноль или один, что соответствует вербальным значениям «очень плохо» и «плохо».

Автомат выполнения экзамена описывает процесс решения трех контрольных задач: Т2, Т5 и Т6. Для выполнения каждой из задач у экипажа имеется две попытки.

За экзамен могут выставляться только три оценки: «Отлично», «Хорошо», и «Плохо». «Удовлетворительно» не предусматривается по причине исключительной ответственности обучаемых за качество выполнения заданий. Для оценок «Отлично» и «Хорошо» предложены три стратегии:

- строгая;
- с промежуточными уровнями строгости;
- мягкая.

Применение не строгой стратегии допустимо только для опытных экипажей, ранее демонстрировавших отличные результаты выполнения учебных задач, при наличии достаточно убедительных мотивов для понижения строгости оценивания.

Строгая стратегия для оценки «Отлично»: по всем задачам в каждой из попыток допустимо получение рангов не меньших трех, т. е. оценка «Отлично» выставляется, если справедливо утверждение:

$$P_5 = \# (\geq 3_2, \geq 3_5, \geq 3_6) \wedge Q_5,$$

где $Q_5 = \# ((3_2^1, 3_5^1, 3_6^1) \vee (3_2^1, 3_5^1, 3_6^2) \vee (3_2^1, 3_5^2, 3_6^1) \vee (3_2^1, 3_5^2, 3_6^2) \vee (3_2^2, 3_5^1, 3_6^1) \vee (3_2^2, 3_5^1, 3_6^2) \vee (3_2^2, 3_5^2, 3_6^1) \vee (3_2^2, 3_5^2, 3_6^2))$.

Строгая стратегия для оценки «Хорошо»: по всем задачам в каждой из попыток допустимо получение рангов не меньших двух, т. е. оценка «Хорошо» выставляется, если справедливо утверждение:

$$P_4 = \# (\geq 2_2, \geq 2_5, \geq 2_6) \wedge Q_4,$$

где $Q_4 = \# ((3_2^2, 3_5^2, 2_6^2) \vee (3_2^2, 3_5^1, 2_6^2) \vee (3_2^1, 3_5^2, 2_6^2) \vee (3_2^1, 3_5^1, 2_6^2) \vee (3_2^2, 2_5^2, 3_6^2) \vee (3_2^2, 2_5^2, 3_6^1) \vee (3_2^1, 2_5^2, 3_6^2) \vee (3_2^1, 2_5^2, 3_6^1) \vee (2_2^2, 3_5^2, 3_6^2) \vee (2_2^2, 3_5^2, 3_6^1) \vee (2_2^2, 3_5^1, 3_6^2) \vee (2_2^2, 3_5^1, 3_6^1) \vee (3_2^2, 2_5^2, 2_6^2) \vee (3_2^1, 2_5^2, 2_6^2) \vee (2_2^2, 3_5^2, 2_6^2) \vee (2_2^2, 3_5^1, 2_6^2) \vee (2_2^2, 2_5^2, 3_6^2) \vee (2_2^2, 2_5^2, 3_6^1) \vee (2_2^2, 2_5^2, 2_6^2))$.

Оценка «Плохо» за экзамен выставляется в том случае, если ранги в задачах Т2, Т5, Т6 варьируются от $r = 0$ до $r = 1$. При получении ранга $r = 1$ в первой попытке экипаж может попытаться исправить ситуацию со второй попытки. В формальной нотации экипаж получает оценку «Плохо», если справедливо следующее утверждение:

$$P_2 = \# ((0_2^1) \vee (0_2^2 \vee 1_2^2) \vee (0_5^1) \vee (0_5^2 \vee 1_5^2) \vee (0_6^1) \vee (0_6^2 \vee 1_6^2)).$$

Предложенная методика управления и поддержки принятия решения обосновывает очередность выполнения задач на тренажере 9Ф694-Э при проведении обучения и экзамена.

Разработаны автоматы проведения режима «Обучения» и проведения режима «Экзамен», логика которых реализована в программном обеспечении тренажера 9Ф694-Э.

В четвертой главе диссертационного исследования описана используемая структура пакета передаваемых данных в СК и ПОУР.

Таблица 2 – Структура пакета передачи информации.

Код пакета	Длина пакета	Информационная часть	Контрольная сумма
2 байта	4 байта	N байт	2 байта

Разработана структура целевой базы данных тренажера 9Ф694-Э со следующими таблицами «Users», «DetailResultUser», «DetailResultVzvod», «Template_Dolznost», «Template_Vzvod», «Template_Zvanie», «Template_Podrazdel», «Tasks», «Events», «Mistakes».

Описан основной интерфейс системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения (Рисунок 4 и Рисунок 5), а также описан способ проведения сеанса тренажа.

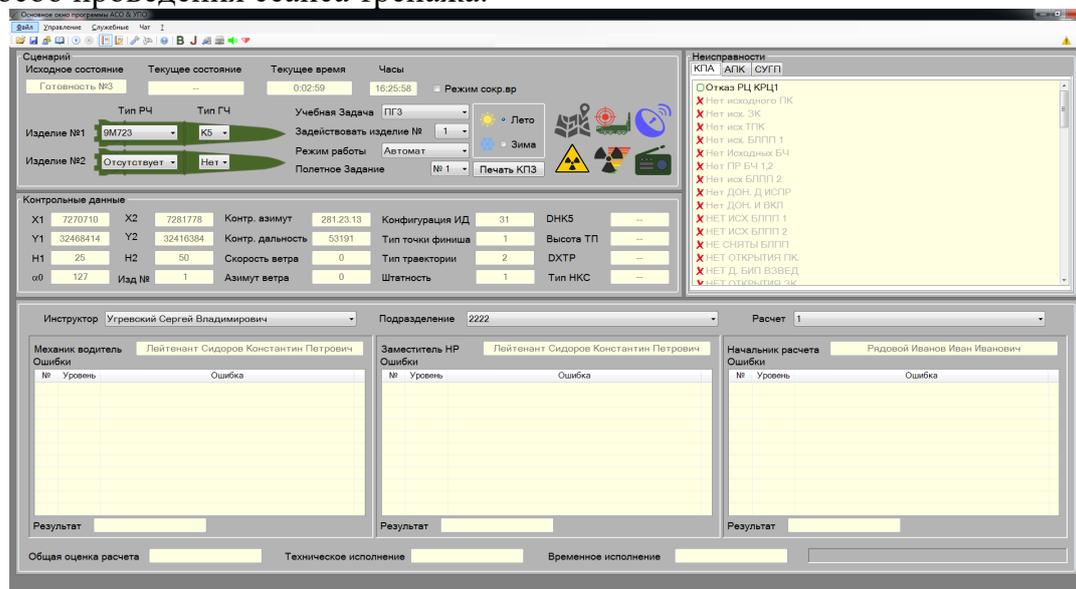


Рисунок 4 – Главная форма программы

В таблице 3 представлены результаты до обучения и после.

Таблица 3 – Результаты выполнения режимов до обучения и после

Режим тренажера	Время подготовки изделия 9М723-Э, мин										Время режима изделия 9М723-Э, мин
	Группа 1		Группа 2		Группа 3		Группа 4		Группа 5		
	До обучения	после, мин	До обучения	после, мин	До обучения	после, мин	До обучения	после, мин	До обучения	после, мин	
ПГЗ	20	10	30	11	25	12	20	15	22	10	15
Г2-Г1	13	7	20	7	16	7	13	9	16	6	-
ПГ1-ВП	20	12	22	10	18	12	20	15	19	8	6
ПГ1	20	10	15	9	19	10	20	13	22	8	6
Марш	30	7	27	7	27	7	30	21	30	7	-

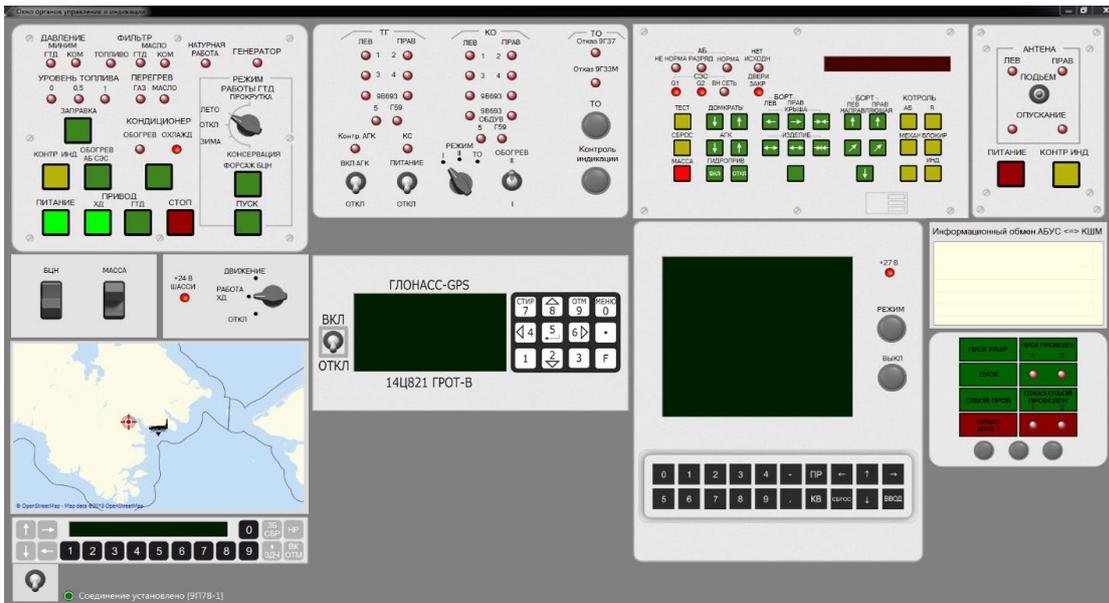


Рисунок 5 – Окно органов управления

На рисунке 6 показан график динамики обучения группы за последние 5 циклов обучения.

Проведено тестирования тренажера 9Ф694-Э.

В результате можно сделать вывод, что использование системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения, входящей в состав тренажера 9П78-1-Э, позволяет ускорить обучение по использованию изделия.

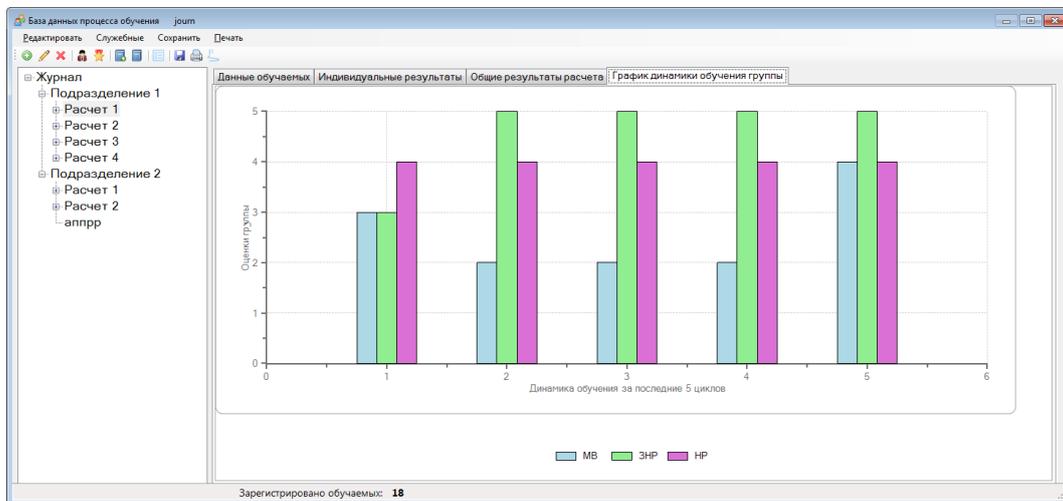


Рисунок 6 – Отображение динамики обучения группы за последние 5 циклов

В процессе прохождения занятий на тренажере изделия 9П78-1-Э члены экипажа приобретают профессиональные умения, соответствующие требованиям должностных инструкций.

Применение учебно-тренировочных средств в образовательной деятельности личного состава способствует более быстрому усвоению и запоминанию материалов благодаря современным средствам визуализации и интерактивному подходу к обучению.

Заключение

1 Проанализированы схемы построения учебно-тренировочных средств специальных изделий. На основании проведенного анализа выявлена проблема специфики управления обучением в динамических тренажерных системах специального назначения. Проблема освещена в малой степени в российских изданиях, хотя отдельные ее аспекты поднимались в трудах В. М. Дозорцева, Д.А. Шукшунова, Т.Н. Лобановой, С.Р. Моисеева, Н.В. Карпухина, А.М. Тавасиева. Целесообразность создания динамического тренажера 9Ф694-Э, в основу которого заложены алгоритмы управления и поддержки принятия решения в распределенных системах, является особо актуальной проблемой.

2 Создана эталонная модель выполнения задач на тренажере. Разработанная модель легла в основу модели обучения, внедренной в СК и ПОУР.

3 Модель обучения позволяет автоматизировать обучение для хорошо изученных операций, когда можно сформировать функцию завершения каждого шага создаваемого тренировочного сценария.

4 Модель обучения состоит из методики оценки верности и оперативности выполненных работ каждого обучаемого и экипажа в целом.

5 Разработанная информационная модель, входящая в состав модели обучения, позволяет управлять процессом обучения на основе структур данных. Информационная модель является основой интерфейса взаимодействия СК и ПОУР и имитатором изделия (ИИ) и используется в тренировочных задачах.

6 Разработано программное обеспечение СК и ПОУР тренажера изделия 9П78-1-Э, на основе разработанной модели обучения.

7 Определены основные процессы в организации управления обучением, разработана схема обучения экипажей ОТРК с помощью тренажера.

8 Разработаны типовые задачи обучения для тренажеров ОТРК на примере тренажера 9Ф694-Э.

9 Обоснована очередность выполнения задач при проведении обучения и экзамена на тренажере.

10 Разработаны автоматы проведения режима «Обучения» и проведения режима «Экзамен», разработан автомат «Замены» экипажа или одного из обучаемых.

11 Описан основной интерфейс системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения.

Использование основной составной части тренажера 9Ф694-Э системы по контролю и принятию оперативного управленческого решения в процессе обучения позволяет ускорить обучение по использованию изделия 9П78-1-Э.

Практическая значимость приводимых в диссертационном исследовании сведений состоит в том, что они могут использоваться в процессе принятия проектных решений при создании аналогичных по назначению УТС.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в изданиях ВАК:

1. Власов Н.Н. Принципы построения учебно-тренировочных средств и опыт создания тренажера оперативно-тактического ракетного комплекса / В.М. Кашин, В.В. Белов, Н.Н. Власов, Д.А. Водиченков // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 3. – С. 94–100. – 0,375 п. л. личный вклад 0,15.
2. Власов Н.Н. Объектно-ориентированная модель перспективного учебно-тренировочного средства. / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Cloud of Science. – 2017. – Т. 4, № 3. С. 480–491. – 0,87 п. л. личный вклад 0,5.
3. Власов Н.Н. Модель перспективного учебно-тренировочного средства. / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Вестник РГРТУ. – 2017. – № 62. – С. 49–57. – 0,5 п. л. личный вклад 0,3.
4. Власов Н.Н. Способ определения компетенций в современных тренажерных системах ОТРК / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Cloud of Science. – 2019. – Т. 6, № 4 – С. 702–718. – 1 п. л. личный вклад 0,55.
5. Власов Н.Н. Базовая методика оценки качества работы обучаемых на тренажерах оперативно-тактического ракетного комплекса. / В.М. Кашин, В.В. Белов, В.Г. Новиков, Н.Н. Власов // Известия РАН. – 2019. – № 4(109). – С. 70–79. – 0,56 п. л. личный вклад 0,18.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

6. Власов Н.Н. Программа для ЭВМ «Журнал данных обучаемых тренажерной системы. Вычисление оценок качества работы обучаемых с отображением динамики обучения групп» / Н.Н. Власов – М.: РОСПАТЕНТ, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615121 от 18.05.2020 г. – 2,8 п. л.

Другие издания:

7. Власов Н.Н. Способ создания модели учебно-тренировочного средства / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIII Юбилейной Всероссийской научн.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Рязан. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2018. – С. 271 – 273. – 0,125 п. л. личный вклад 0,1.
8. Власов Н.Н. Построение фрагментов модели учебно-тренировочного средства / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Актуальные вопросы современной информатики: материалы научно-практической конференции / ГСГУ – Коломна, 2017. – С. 114–120. – 0,375 п. л. личный вклад 0,2.
9. Водиченков Д.А., Камин Д.К., Воробьев А.А., Власов Н.Н. Разработка комплексного классного тренажера расчета пусковой установки 9П78-1 ракетного комплекса 9К720», шифр «Ярость»: научно-технический отчет по ОКР / «АО «НПК «КБМ». – Коломна, 2014. – 53 с. – 3,3 п. л. личный вклад 0,83.
10. Власов Н.Н. Анализ принципов и российского опыта построения учебно-тренировочных средств / В.В. Белов, Н.Н. Власов, Д.А. Водиченков // Cloud of Science. – 2016. – Т. 3. № 1 – С. 81–92 – 0,68 личный вклад 0,22.
11. Власов Н.Н. Использование Case средств в построении модели учебно-тренировочного средства / В.В. Белов, Н.Н. Власов // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. – Коломна: КИ(Ф) МПУ, 2017. – С. 50 – 57 – 0,437 п. л. личный вклад 0,22.

Власов Николай Николаевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ
И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ
ЭКИПАЖЕЙ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2021. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ _____

Отпечатано в типографии ГУП МО «Коломенская типография»
140400, г. Коломна, ул. 3-го Интернационала, 2 А

