



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

Е. С. Костин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В научной статье выполнен анализ современных тенденций в области подготовки операторов беспилотных систем (БС) и требований к результатам обучения по направлению 25.03.02 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов». Показано, что традиционные формы подготовки ограничены высокой стоимостью оборудования, рисками его повреждения при работе неопытных обучающихся и недостаточной объективностью оценки сформированности практических компетенций. Исследованы отечественные и зарубежные подходы к симуляционному обучению и формализованной оценке компетенций, в том числе в инженерном и медицинском образовании. Обобщены результаты работ, посвящённых применению виртуальной и смешанной реальности для подготовки операторов дистанционно управляемых технических систем и операторов сложного технологического оборудования. Определены принципы формализованной оценки компетенций операторов БС в виртуальной среде, предложен набор количественных метрик и методика их агрегирования в интегральные оценочные показатели. Разработана концепция программного десктопного тренажёра, предназначенного для обучения сборке технической платформы, выполнению операций пайки и настройке взаимодействия бортовых подсистем с наземным оборудованием. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации образовательных программ, а также при создании тренажёрно-имитационных комплексов для подготовки операторов БС.

Ключевые слова: беспилотные системы, оператор технических систем, компетенции, формализованная оценка, симулятор, виртуальное обучение, тренажёр.

Для цитирования:

Костин, Е. С. Исследование принципов формализованной оценки компетенций операторов беспилотных систем на базе виртуального обучения / Е. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 5(48). – с. 101-110. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-5-101-110.

RESEARCH OF PRINCIPLES OF FORMALIZED COMPETENCY ASSESSMENT OF UNMANNED SYSTEMS OPERATORS BASED ON VIRTUAL TRAINING

E. S. Kostin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The paper analyzes current trends in the training of unmanned systems (US) operators and the learning outcome requirements for the Bachelor's programme 25.03.02 "Technical Operation of Aircraft Electrical Systems and Flight-Navigation Complexes". It is shown that traditional training formats are constrained by the high cost of equipment, the risk of hardware damage caused by inexperienced trainees, and the limited objectivity of practical competence assessment. Both domestic and international approaches to simulation-based training and formalized competency assessment are examined, including those used in engineering and medical education. The results of studies on the use of virtual and mixed reality for training operators of remotely controlled technical systems and complex technological equipment are summarized. Principles of formalized competency assessment for US operators in a virtual environment are defined; a set of quantitative metrics and a method for aggregating them into integral assessment scores are proposed. A concept of a desktop training simulator is developed, aimed at teaching assembly of a technical platform, performing soldering operations and configuring interaction between on-board subsystems and ground equipment. The findings can be used for the design and modernization of educational programmes as well as for the development of simulation-based training systems for unmanned systems operators.

Keywords: unmanned systems, technical systems operator, competencies, formalized assessment, simulator, virtual training, training system, Federal State Educational Standard 25.03.02.

For citation:

Kostin, E. S. Research of principles of formalized competency assessment of unmanned systems operators based on virtual training / E. S. Kostin // System analysis and logistics. – 2025. – № 5(48). – p. 101-110. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-5-101-110.



Введение

За последние годы беспилотные системы превратились из специализированного инструмента в массовое средство решения задач в сфере мониторинга инфраструктуры, сельского хозяйства, геодезии, строительства и обеспечения безопасности. При этом рост парка БС в гражданском секторе сопровождается увеличением числа инцидентов, связанных с человеческим фактором, недостаточной подготовленностью операторов и некорректной эксплуатацией техники [1-4]. В ряде исследований подчёркивается, что существующие программы обучения эксплуатантов нередко носят универсальный характер и плохо учитывают специфику конкретных отраслей применения, что снижает их эффективность [5, 6].

Подготовка операторов БС в вузах и учреждениях дополнительного профессионального образования сталкивается с целым комплексом ограничений. Во-первых, высока стоимость современного оборудования, включая сами технические платформы, наземные станции управления, средства связи и измерительную аппаратуру. Во-вторых, эксплуатация даже учебного парка БС связана с рисками поломок вследствие ошибок студентов, особенно на ранних этапах обучения. В-третьих, реальный ресурс системы и доступное время для проверок ограничены погодными условиями, требованиями безопасности и регуляторными нормами. В-четвёртых, при традиционных формах занятий затруднена объективная фиксация и последующий анализ действий обучающихся: оценка часто опирается на субъективное наблюдение преподавателя.

В других областях — прежде всего в медицинском образовании — эти проблемы решаются за счёт активного внедрения симуляционного обучения, при котором ключевые профессиональные действия отрабатываются в контролируемой виртуальной или физической среде с возможностью многократного повторения сценариев и детальной регистрации параметров деятельности обучающегося [7, 8]. Подобные подходы активно развиваются и в инженерном образовании, где систематические обзоры показывают смещение фокуса от проверок знаний к компетентностно-ориентированным моделям, предполагающим работу с реальными или моделируемыми объектами и оценку деятельности по набору формализованных показателей [9].

Для российского образовательного контекста важным является согласование новых форм обучения и оценки с требованиями ФГОС ВО по соответствующим направлениям подготовки. В частности, для направления 25.03.02 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» стандарт фиксирует широкий спектр компетенций, связанных с эксплуатацией сложных бортовых систем, обеспечением их работоспособности и безопасностью функционирования [10]. Вместе с тем вопрос о том, каким образом формализовать оценку соответствующих компетенций в виртуальной среде и встроить её результаты в общую систему контроля успеваемости, остаётся открытым. Целью настоящей статьи является исследование принципов формализованной оценки компетенций операторов БС на базе виртуального обучения и разработка концепции десктопного тренажёра, позволяющего формировать и измерять основные технические и эксплуатационные навыки операторов-эксплуатантов.

Анализ нормативно-правовых оснований и образовательной среды подготовки операторов беспилотных систем

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению 25.03.02 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» определяет совокупность требований к структуре основных профессиональных образовательных программ, условиям их реализации и результатам освоения [10]. Стандарт закрепляет ориентацию подготовки на сферу аэронавигации и эксплуатации авиационной техники, включая деятельность по поддержанию исправности, работоспособности и летной годности бортовых систем и комплексов.



С точки зрения задачи формализованной оценки компетенций операторов БС существенным является блок требований к результатам освоения программы бакалавриата, в котором перечисляются общепрофессиональные и профессиональные компетенции выпускника. Среди них особый интерес представляют компетенции, связанные с участием в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности и готовности объектов авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов, умением выполнять первичные профессиональные умения, включая слесарные операции, изготовление и ремонт простых деталей, сборку узлов, а также способностью применять средства механизации и автоматизации производственных процессов, средства вычислительной техники и пакеты прикладных программ [10].

ФГОС предъявляет требования не только к владению теоретическими знаниями, но и к практическим умениям, основанным на работе с реальным оборудованием и технологической документацией. При этом стандарт прямо указывает на необходимость использования элементов математического моделирования и программных средств при исследовании объектов и процессов эксплуатации. В совокупности это создаёт нормативную основу для включения в образовательные программы модулей, ориентированных на моделирование технических систем, а также симуляторов, отражающих реальные процессы эксплуатации и технического обслуживания.

Для направлений подготовки, где в качестве объектов эксплуатации выступают БС, перечень компетенций ФГОС 25.03.02 может быть интерпретирован с учётом специфики соответствующей отрасли авиации. В частности, задачи поддержания истинности и достоверности данных, передаваемых по бортовым каналам связи, обеспечения устойчивости энергосистемы, контроля состояния приводов и сенсоров могут рассматриваться как частные случаи «поддержания летной годности авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов» применительно к беспилотным аппаратам. Соответственно, формализованная оценка компетенций операторов БС должна включать измеримые показатели, отражающие умение диагностировать и устранять неисправности, правильно собирать и конфигурировать аппарат, а также обеспечивать безопасную эксплуатацию в заданных сценариях.

Таким образом, ФГОС 25.03.02 задаёт рамочные ориентиры для проектирования учебных программ и оценочных средств: выпускник должен демонстрировать как теоретическую подготовленность в области авиационных электросистем и навигационных комплексов, так и практическую готовность к выполнению работ по техническому обслуживанию, ремонту и организации эксплуатации.

Методологические принципы конструирования систем оценки компетенций обучающихся

В мировой практике за последние десятилетия сформировалась парадигма компетентностно-ориентированного обучения (competency-based training), в рамках которой основным объектом проектирования и оценки выступает не объём освоенных знаний, а способность обучающегося демонстрировать заданный уровень владения компетенциями в типичных и критических профессиональных ситуациях [11, 12].

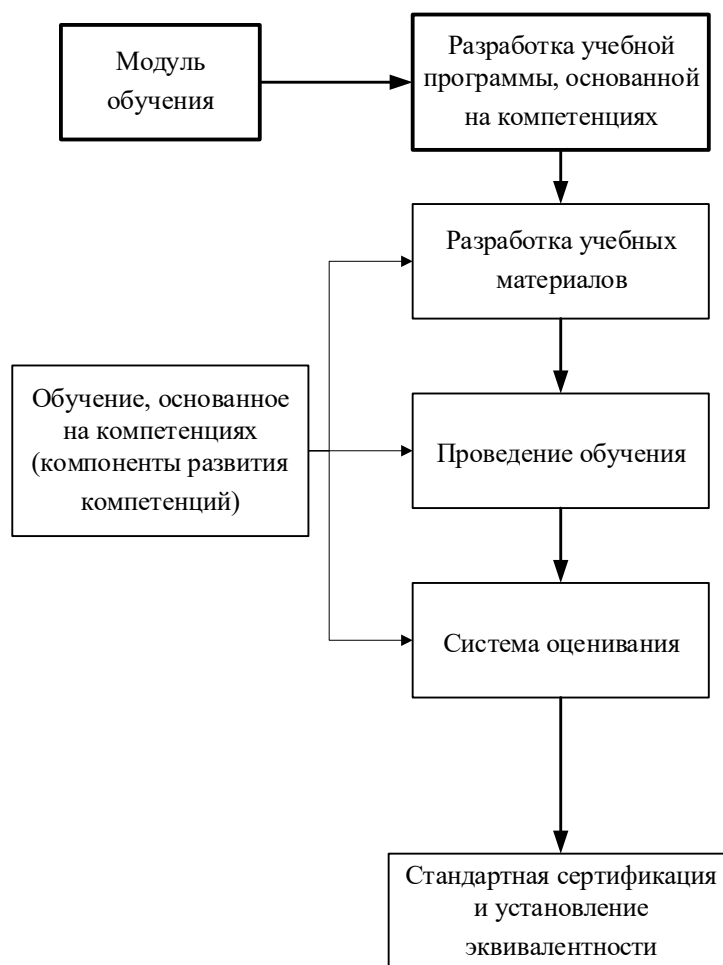


Рис. 1. Модель обучения, основанного на компетенциях

В инженерном образовании систематические обзоры методов оценки компетенций показывают переход от традиционных экзаменов к комплексным инструментам, включающим рубрикаторы, портфолио, наблюдение за деятельностью в реальных или имитационных условиях, а также компьютеризированные тесты и симуляции [13]. Важной характеристикой таких инструментов является их «валидность» и надёжность. Валидность предполагает соответствие измеряемых параметров целевым компетенциям, а надёжность – устойчивость результатов при повторных измерениях и при оценке разными экспертами. Современные исследования указывают, что при разработке инструментов оценки компетенций в инженерном образовании целесообразно исходить из структурирования компетенции на компоненты (знание, умение, поведенческие проявления) и связывать каждую компоненту с конкретными наблюдаемыми индикаторами [13]. Такой подход облегчает переход от качественных описаний к количественным метрикам.

Симуляционное обучение играет особую роль в разработке формализованных процедур оценки, поскольку компьютерные симуляторы позволяют регистрировать широкий набор объективных параметров: время выполнения задания, количество и характер ошибок, частоту использования подсказок, траектории движения и др. Обзор методов оценки компетенций в компьютерных симуляторах демонстрирует, что наиболее распространёнными являются: автоматизированные количественные показатели, рассчитываемые непосредственно симулятором, и экспертные рейтинговые шкалы, по которым преподаватели оценивают поведение обучающегося, опираясь на наблюдение или анализ записей сессий [14]. При этом подчёркивается необходимость разработки оценочных инструментов, независимых от конкретной дисциплины, но адаптируемых к различным контекстам.



Таким образом, общими для современных моделей подготовки и оценки компетенций являются следующие положения: необходимость явного описания компетенций и их компонентов; использование совокупности объективных и субъективных показателей; привязка оценивания к деятельности в реалистичных сценариях; ориентация на многократное формативное оценивание, а не только на итоговый экзамен. Эти положения в равной степени применимы и к подготовке операторов БС, особенно если значительная часть обучения будет происходить в виртуальной среде.

Оценка образовательных интервенций на основе сравнений «до/после» в подготовке операторов технических систем

Экспериментальные исследования с дизайном «до/после» (pre-test / post-test) являются одним из ключевых инструментов валидации программ обучения и оценочных средств. В контексте виртуального и симуляционного обучения они позволяют количественно оценить влияние конкретной образовательной интервенции на знания, навыки и поведенческие показатели обучающихся.

В ряде работ, посвящённых VR-обучению операторов сложного оборудования, в частности в строительной отрасли, показано, что VR-тренинг может обеспечивать не только сопоставимый, но и более существенный рост показателей знаний и навыков по сравнению с традиционными очными занятиями. В экспериментах, где одна группа работников осваивала управление роботизированной техникой в виртуальной среде, а другая проходила аналогичный курс в классическом формате, VR-группа демонстрировала большее увеличение уровня знаний, более высокие показатели операционных навыков и безопасного поведения при выполнении производственных задач [15, 16]. Эти результаты получают объяснение за счёт возможности многократной отработки действий без риска и более высокого уровня вовлечённости обучающихся.

Специальные исследования, посвящённые подготовке операторов беспилотных систем, также используют дизайн «до/после» для оценки эффективности симуляторов и VR-сред. Так, в работе, ориентированной на обучение операторов дистанционно управляемых платформ в «геймифицированной» VR-среде, студенты университета проходили предварительное тестирование знаний и навыков, затем выполняли серию задач в виртуальном окружении, после чего проходили повторное тестирование. Авторский курс позволил добиться значимого увеличения точности управления, сокращения времени выполнения заданий и уменьшения количества критических ошибок, связанных с потерей контроля или нарушением заданных ограничений [2]. Важно, что измерялись как количественные параметры, собранные автоматически симулятором, так и результаты теоретических тестов.

Обзор использования симуляторов для предварительной подготовки операторов дистанционно управляемых платформ показывает, что при корректном построении сценариев и методик оценивания симуляционное обучение обеспечивает статистически значимое улучшение навыков по сравнению с группами, не использовавшими тренажёры [3]. При этом подчёркивается, что эффективность симуляционного обучения зависит от содержания сценариев, качества моделирования динамики движения и интерфейса, а также от того, насколько чётко определены критерии успешности выполнения упражнений.

Для переноса принципов таких исследований в подготовку операторов БС в вузе важно учитывать следующие моменты:

1. наличие сопоставимых до и после тестов, позволяющих измерить изменение уровня компетенций;
2. использование комплексных показателей, включающих как теоретические знания, так и практические навыки (по данным симулятора);
3. стандартизация сценариев, чтобы результаты разных обучающихся и разных потоков студентов были сопоставимы;



4. фиксация не только итогового результата (успех / провал), но и траектории обучения (динамика метрик от попытки к попытке).

Проектирование системы оценки компетенций в условиях имитационного и виртуального обучения

Перенос принципов компетентностно-ориентированного и симуляционного обучения в виртуальную среду требует решения трёх взаимосвязанных задач: декомпозиции целевых компетенций операторов БС на измеряемые элементы; определения соответствующих количественных метрик, доступных для регистрации в симуляторе; разработки алгоритмов агрегирования метрик в формализованные оценки. В первую очередь, компетенции оператора БС в рассматриваемом контексте включают:

- технические навыки сборки и подготовительной настройки технической платформы (правильный выбор и соединение компонентов, пайка, проверка полярности и целостности цепей, настройка контроллера и связи с наземной станцией);
- навыки эксплуатации и управления (в базовом объёме – устойчивое движение, выполнение манёвров, соблюдение ограничений);
- когнитивные навыки диагностики и принятия решений при отказах.

Каждая из этих групп компетенций может быть представлена набором типовых задач и операций, выполняемых обучающимся в виртуальной среде. В дополнение к этому, для каждой операции необходимо определить измеримые показатели. Примеры таких показателей включают в себя:

- время выполнения операции или всего задания;
- количество ошибок (неверных соединений, некорректных настроек, попыток запуска при наличии явных неисправностей);
- количество обращений к подсказкам или справочным материалам;
- количество критических событий (например, виртуальных отказов или «аварий», вызванных действиями обучающегося);
- качественные показатели результата (успешный запуск и стабильная работа собранной системы, отсутствие перегрева компонентов, корректность диагностируемых параметров).

Современные VR- и десктопные симуляторы для подготовки операторов дистанционно управляемых систем демонстрируют техническую реализуемость регистрации подобных параметров и последующего формирования отчётов об успешности прохождения сценариев [2, 3, 16].

Также необходимо разработать систему расчёта интегральных оценок, пригодных для использования в рамках учебного процесса и аттестации. Типовым подходом является формирование критериально-ориентированных шкал, где каждому уровню владения компетенцией соответствует диапазон значений нескольких ключевых метрик. Например, можно задать пороговые значения по времени выполнения задания и допустимому числу ошибок, при которых результат считается удовлетворительным, хорошим или отличным. Более продвинутые модели предполагают использование взвешенных суммарных баллов, где отдельным метрикам (например, числу критических ошибок) придаётся больший вес, чем второстепенным параметрам (время). При этом важно обеспечить интерпретируемость оценок для студентов и преподавателей.

В литературе по оценке компетенций в компьютерных симуляторах также подчёркивается необходимость процедур валидации разработанных метрик и шкал [17]. Для этого могут использоваться: сопоставление показателей обучающихся с разным уровнем подготовки (например, сравнение студентов и экспертов-практиков); анализ внутренней согласованности наборов показателей; проверка связи формализованных оценок с внешними



критериями (успех на реальной практике, результаты независимых экзаменов). Эти процедуры целесообразно закладывать уже на этапе проектирования виртуального тренажёра.

Модель тренажёрно-имитационного комплекса для развития и оценки компетенций операторов беспилотных систем

Исходя из рассмотренных принципов, предлагается концепция программного десктопного тренажёра, ориентированного на подготовку операторов малогабаритных роботизированных систем в условиях высшего образования по направлению 25.03.02. Ключевой особенностью данного тренажёра является акцент не только на управлении, но и на технических навыках сборки, пайки и настройки взаимодействия бортовых подсистем с наземным оборудованием. Функциональная архитектура тренажёра включает следующие подсистемы:

1. Модуль теоретико-практического обучения, реализующий интерактивные сценарии по изучению устройства технической платформы, состава бортовых систем, принципов работы регуляторов мощности, блоков управления, систем питания и каналов связи;
2. Модуль виртуальной сборки, в котором обучающийся поэтапно собирает модель платформы из набора компонентов, выполняя логические операции (выбор правильных компонентов), пространственные действия (размещение на несущей конструкции, прокладка проводов) и операции «виртуальной пайки»;
3. Модуль технической диагностики и предполётной подготовки, позволяющий выявлять и устранять специально заложенные неисправности (перепутанные каналы, неверная полярность, некачественные соединения, некорректные параметры конфигурации);
4. Модуль базового пилотирования, обеспечивающий выполнение типовых задач по запуску, удержанию заданного режима работы, движению по маршруту и остановке, а также отработку реакции на отказ отдельных систем в безопасной виртуальной среде;
5. Модуль оценки и отчётности, регистрирующий все действия обучающегося и формирующий комплекс количественных и качественных показателей по каждой попытке.

Процесс взаимодействия студента с тренажёром предполагает наличие нескольких режимов: обучающий, тренировочный и аттестационный. В обучающем режиме система предоставляет подробные подсказки, визуальные и текстовые пояснения, допускает большое количество попыток и направляет внимание студента на ключевые аспекты технологии (например, безопасную работу с паяльным оборудованием, проверку полярности, правильный выбор сечения проводов). В тренировочном режиме подсказки сокращаются, допускается ограниченное число ошибок, а после завершения сценария обучающийся получает подробный отчёт с указанием допущенных ошибок, времени выполнения и рекомендациями по улучшению. В аттестационном режиме подсказки отключены, сценарии стандартизованы, а результаты используются для выставления формализованных оценок. Система собираемых метрик в тренажёре должна быть согласована с целевыми компетенциями и включать:

1. Временные показатели: общее время выполнения задания, время на ключевых этапах (сборка несущей конструкции, подключение исполнительных модулей, пайка, настройка связи с ПК, запуск и калибровка);
2. Показатели ошибок: количество неверных соединений, случаев нарушения технологической последовательности, попыток запуска при наличии явных неисправностей, аварийных завершений работы в модуле управления;
3. Показатели качества результата: успешность прохождения автоматизированной проверки готовности к эксплуатации, стабильность работы системы (отклонение по



- параметрам траектории и ориентации, если моделируется движение), отсутствие «виртуальных» перегревов или срабатываний защит;
4. Показатели использования поддержки: число обращений к справочным материалам, использование встроенных подсказок, количество перезапусков сценария.

Каждому виду задания может соответствовать собственная система оценивания. Например, для задания «Сборка и подготовка квадрокоптера к полёту» можно задать следующие уровни: «отлично» – задание выполнено за время, не превышающее установленный порог, без критических ошибок и с ограниченным (заданным) числом некритических ошибок; «хорошо» – задание выполнено в допустимое время, без критических ошибок, но с большим числом некритических ошибок; «удовлетворительно» – задание выполнено, но с превышением эталонного времени и/или наличием критических ошибок, устранённых в ходе выполнения; «неудовлетворительно» – задание не доведено до конца или содержит неустранённые критические ошибки.

В отчёте по результатам задания обучающийся должен видеть не только итоговый уровень, но и подробную структуру своего результата: где были допущены ошибки, на каких этапах происходили задержки, какие подсказки использовались. Это способствует формированию рефлексии и улучшению стратегии выполнения заданий.

С точки зрения интеграции в образовательный процесс тренажёр может использоваться как в рамках дисциплин, связанных с конструкцией и эксплуатацией беспилотных систем, так и в качестве компонента производственной практики, частично компенсирующего недостаток доступа к реальному оборудованию. При этом важно, чтобы формализованная оценка, полученная в тренажёре, была встроена в систему текущего и итогового контроля по дисциплинам и соотнесена с компетенциями, зафиксированными в образовательной программе.

Заключение

Проведённый анализ современных тенденций в подготовке операторов БС и требований ФГОС ВО 25.03.02 показал, что ключевым вызовом является необходимость одновременного обеспечения высокого уровня практической подготовленности выпускников и соблюдения ограничений по безопасности и ресурсам. Традиционные формы обучения при ограниченном доступе к материально-технической базе не позволяют в полной мере реализовать компетентностный подход, поскольку объём самостоятельной практической работы студентов с реальной техникой оказывается недостаточным.

Использование виртуальных тренажёров и компьютерных симуляторов, подтверждённое результатами исследований в области инженерного и медицинского образования, а также специальными работами по подготовке операторов дистанционно управляемых систем, представляет собой эффективный путь решения обозначенной проблемы. Симуляторы позволяют создавать безопасную, воспроизводимую и масштабируемую среду, в которой обучающиеся могут многократно отрабатывать действия по сборке, настройке и управлению БС, а разработчики учебных программ – получать детализированные объективные данные о ходе и результатах обучения.

На основе анализа отечественных и зарубежных публикаций в статье сформулированы принципы формализованной оценки компетенций операторов БС в виртуальной среде: декомпозиция компетенций на измеряемые элементы; использование системы количественных метрик (временных, ошибок, качества результата, использования подсказок); построение интегральных оценочных шкал с понятными пороговыми значениями; обязательное включение процедур валидации оценочных средств. Предложена концепция десктопного тренажёра, ориентированного на обучение сборке технической платформы и технической подготовке к работе, с выделением основных модулей и критериев оценивания.

Перспективы дальнейших исследований связаны с практической реализацией



описанного тренажёра, проведением педагогического эксперимента с дизайном «до/после» на выборке студентов, обучающихся по направлению 25.03.02, а также с уточнением и валидацией предложенного набора метрик. Отдельного внимания заслуживает изучение трансфера навыков, сформированных в виртуальной среде, на деятельность с реальными беспилотными системами, в том числе с использованием дополнительных показателей (нейрофизиологических, поведенческих и др.) для комплексной оценки готовности оператора к профессиональной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костин А. С.* Разработка программно-аппаратного обеспечения беспилотной системы для решения задачи мониторинга движения объектов в складском комплексе / А. С. Костин, В. В. Рубинов, Н. Н. Майоров // Датчики и системы. – 2024. – № 4(276). – С. 44–50.
2. *Костин А. С.* Исследование применимости беспилотных систем для решения задачи учёта товаров в цепях поставок / А. С. Костин // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: сб. докл. Пятой Междунар. науч. конф., в 2 ч. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 207–211.
3. *Somerville A.* Use of simulation for pre-training of drone pilots / A. Somerville, T. Lynar, K. Joiner, G. Wild // Drones. – 2024. – Vol. 8, No. 11, Art. 640. – 14 с. DOI:10.3390/drones8110640.
4. *Blohm I.* Gamification design of IT-based enhancing services for motivational support and behavioral change / I. Blohm, J. M. Leimeister // Business & Information Systems Engineering. – 2013. – Vol. 5. – P. 275–278. DOI:10.1007/s12599-013-0273-5.
5. *Вознесенский Е. А.* Анализ возможностей и ограничений при внедрении беспилотных авиационных систем для решения транспортных задач / Е. А. Вознесенский, А. С. Костин // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов её эксплуатации – 2020 : сб. тр. XIII Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, Т. 1. – Иркутск, 2021. – С. 265–270.
6. *Майоров Н. Н.* Анализ аппаратного обеспечения беспилотной авиационной системы для решения доставки грузов в условиях городской среды / Н. Н. Майоров, Ю. А. Силин // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – С. 40–48.
7. *Scalese R. J.* Simulation technology for skills training and competency assessment in medical education / R. J. Scalese, V. T. Obeso, S. B. Issenberg // Journal of General Internal Medicine. – 2007. – Vol. 23, Suppl. 1. – P. 46–49. DOI:10.1007/s11606-007-0283-4.
8. *Hjellvik S.* Review on competency assessment instrumentation in computer-based simulation / S. Hjellvik, S. Mallam, M. F. Giskeødegård, S. Nazir // Technology, Knowledge and Learning. – 2024. – Vol. 29. – P. 2171–2200. DOI:10.1007/s10758-024-09735-4.
9. *Cruz M. L.* Evaluation of competency methods in engineering education: a systematic review / M. L. Cruz, G. N. Saunders-Smits, P. Groen // European Journal of Engineering Education. – 2020. – Vol. 45, No. 5. – P. 729–757. DOI:10.1080/03043797.2019.1671810.
10. *Костин А. С.* Методы повышения безопасности эксплуатации беспилотных авиационных систем в городской среде при выполнении полетных миссий / А. С. Костин, А. А. Горелова // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 2(32). – С. 105–112.
11. *Костин А. С.* Методы и подходы моделирования перемещения беспилотной системы в симуляционной среде / А. С. Костин, Е. С. Костин // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сб. ст. XXVIII Междунар. науч. конф.: в 3 ч. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 169–173.
12. *Nwaogu J. M.* Enhancing drone operator competency within the construction industry: assessing training needs and roadmap for skill development / J. M. Nwaogu // Buildings. –



2024. – Vol. 14, No. 4, Art. 1153. DOI:10.3390/buildings14041153.
13. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 25.03.02 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно навигационных комплексов» (уровень бакалавриата). Утв. приказом Минобрнауки России от 11.08.2016 № 999. – Москва: Минобрнауки России, 2016. – 18 с.
 14. *Костин Е. С.* Информационная система анализа положения тумблеров управления для выполнения полёта в имитационном пространстве / Е. С. Костин, А. С. Костин // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: сб. ст. VII Междунар. форума. – СПб.: 2025. – С. 178–179.
 15. Балтийский государственный технический университет «Военмех». Обеспечение контроля и безопасности применения беспилотных авиационных систем: образовательная программа дополнительного профессионального образования [Электронный ресурс]. – URL: <https://voenmeh.ru/product/obespechenie-kontrolya-i-bezopasnosti-primeneniya-bespilotnyh-aviaczionnyh-sistem/> (дата обращения: 27.11.2025).
 16. *Adami P.* Effectiveness of VR-based training on improving construction workers' knowledge, skills, and safety behavior in robotic teleoperation / P. Adami, P. B. Rodrigues, P. J. Woods [et al.] // Advanced Engineering Informatics. – 2021. – Vol. 50, Art. 101431. – 30 p. DOI:10.1016/j.aei.2021.101431.
 17. *Kopyt P. D. A., Tokarz D.* VR environment for UAV pilots training with automated flight assessment system // Proc. of AEC 2021. Aviation Engineering Conference. – Warsaw, 2021. – 18 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Костин Егор Сергеевич

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: gorik8993@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kostin Egor Sergeevich

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: gorik8993@mail.ru

Дата поступления: 02.12.2025

Дата принятия: 02.12.2025