

МРНТИ 50.43/50.53

[https://doi.org/10.53364/24138614\\_2024\\_34\\_3\\_2](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_34_3_2)<sup>1</sup> Р.Ж. Тулеушова\*, <sup>1</sup>О.В. Жирнова<sup>1</sup>Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан\*E-mail: [ratu@inbox.ru](mailto:ratu@inbox.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА НА ПРИМЕРЕ СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Аннотация.** В статье рассматривается применение цифровых технологий в подготовке летного состава с акцентом на использование симуляторов для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Цель исследования заключается в оценке эффективности симуляторов в процессе обучения операторов БПЛА, а также в выявлении их роли в развитии ключевых профессиональных навыков. В ходе исследования проведен анализ существующих симуляторов и методов их применения, а также сравнительный анализ их эффективности по сравнению с традиционными методами обучения. Результаты показывают, что симуляторы способствуют ускоренному усвоению практических навыков и снижению риска ошибок при реальных полетах. В заключении предложены рекомендации по улучшению программ подготовки с использованием симуляторов и указаны направления для дальнейших исследований в области применения цифровых технологий в авиационном обучении.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, симуляторы, беспилотные летательные аппараты, подготовка летного состава, авиационное образование, обучение операторов БПЛА.

**Введение.** Современные тенденции в развитии авиационной отрасли требуют все более высокой квалификации и подготовки летного состава, особенно с учетом растущей роли беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в гражданской авиации. В условиях динамично развивающегося мирового рынка авиационных технологий, эффективное обучение операторов БПЛА становится ключевым элементом для обеспечения безопасности и повышения эффективности полетов. Актуальность применения цифровых технологий в авиационной сфере неуклонно растет, особенно в связи с увеличением использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в гражданской авиации. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является внедрение цифровых технологий и, в частности, использование симуляторов для подготовки пилотов и операторов беспилотников. Эти системы

находят широкое применение в различных областях – от мониторинга до грузоперевозок и обеспечения безопасности. Вследствие этого возникает необходимость в качественной подготовке специалистов, способных эффективно управлять БПЛА, что требует не только теоретических знаний, но и развитых практических навыков. Традиционные методы обучения операторов БПЛА не всегда обеспечивают достаточную степень подготовки, особенно с учетом сложности современных авиационных систем и необходимости действовать в условиях высокой ответственности.

Для решения этой задачи все чаще используются симуляторы, которые позволяют воспроизводить реальные условия полетов в безопасной виртуальной среде. Однако, несмотря на их широкое внедрение в учебный процесс, остаются открытыми вопросы, касающиеся эффективности симуляторов в обучении операторов беспилотников. Насколько эти технологии способствуют усвоению ключевых профессиональных навыков и готовы ли операторы, прошедшие обучение на симуляторах, к реальным полетам – это основные проблемы, требующие детального анализа.

Цель данного исследования – проанализировать влияние симуляторов БПЛА на процесс обучения летного состава, выявить их эффективность в подготовке операторов, а также определить, какие аспекты обучения требуют дальнейшего совершенствования.

В Казахстане подготовка авиационного персонала, включая операторов БПЛА, активно развивается с учетом международных стандартов и требований. Академия гражданской авиации играет важную роль в формировании кадров для национальной авиационной отрасли, используя передовые технологии обучения, в том числе симуляторы для летного состава. Однако, в отличие от многих развитых стран, где применение симуляторов стало обязательной частью образовательного процесса, в Казахстане этот инструмент находится на стадии активного внедрения и апробации.

Для сравнения, в России и других странах СНГ симуляторы уже активно используются в подготовке операторов БПЛА, но с различным уровнем интеграции. Например, в России были разработаны собственные симуляционные системы для обучения операторов БПЛА, однако они часто ориентированы на военное применение, в то время как гражданская авиация только начинает активно использовать этот инструмент в образовательных программах. В странах Европы и США обучение с использованием симуляторов БПЛА стало неотъемлемой частью подготовки пилотов, и эти технологии совершенствуются в соответствии с требованиями гражданской и военной авиации.

Зарубежный опыт демонстрирует, что использование симуляторов способствует не только ускоренному освоению сложных навыков, но и снижению затрат на обучение за счет уменьшения необходимости проведения полетов на реальной технике. Это особенно актуально для Казахстана, где

использование симуляторов может сократить расходы на обучение и повысить качество подготовки операторов в условиях, приближенных к реальным.

Таким образом, актуальность данного исследования заключается в необходимости анализа и внедрения передовых цифровых технологий, таких как симуляторы БПЛА, в процесс подготовки летного состава в Казахстане. Исследование позволяет сравнить текущие достижения в этой области с опытом других стран, что позволит выделить ключевые направления для дальнейшего развития отечественной системы подготовки авиационных кадров.

*Основная часть. Анализ предыдущих казахстанских исследований в сравнении с зарубежными и странами СНГ. Казахский опыт в области применения симуляторов и цифровых технологий в авиационном обучении.* В Казахстане использование симуляторов и цифровых технологий для подготовки летного состава и операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) находится на стадии активного развития. Академия гражданской авиации Казахстана (АГА) активно внедряет симуляционные системы для обучения пилотов, включая операторов БПЛА, однако пока исследования по эффективности этих технологий ограничены. В рамках национальной программы по модернизации образования и подготовки авиационных кадров, обучение с использованием симуляторов рассматривается как важная составляющая повышения профессиональных навыков операторов, что также снижает расходы на обучение и минимизирует риски в реальных полетах.

Одним из ключевых казахстанских исследований является работа по внедрению симуляторов в учебные программы летных учебных заведений, где делается акцент на создание условий, максимально приближенных к реальной эксплуатации воздушных судов. Исследования показывают, что симуляторы позволяют значительно сократить время на обучение базовым навыкам пилотирования, что важно для подготовки операторов БПЛА, однако остаются вопросы по их применению для сложных сценариев и чрезвычайных ситуаций.

Вместе с тем, в Казахстане пока ограничено количество публикаций, касающихся анализа цифровых технологий в обучении операторов БПЛА. Основные исследования сосредоточены на традиционных пилотажных симуляторах для гражданских воздушных судов, в то время как обучение операторов БПЛА в большей степени основано на индивидуальных образовательных инициативах или адаптации зарубежного опыта.

*Сравнение с исследованиями в России и других странах СНГ.* В России симуляторы для подготовки операторов БПЛА внедряются в рамках как военных, так и гражданских программ. Российские исследования показывают, что симуляторы БПЛА имеют важное значение для подготовки операторов, особенно в условиях имитации сложных и нестандартных ситуаций. Однако в большинстве случаев симуляторы разрабатываются в первую очередь для военных нужд, и лишь немногие программы адаптированы для гражданской авиации. Основные исследования в России касаются эффективности применения

симуляторов в управлении воздушным движением, а также их роли в снижении человеческого фактора в чрезвычайных ситуациях.

В отличие от Казахстана, в России существует больше публикаций, касающихся специфики обучения операторов БПЛА с помощью симуляторов. Исследования показывают, что использование симуляторов в подготовке операторов БПЛА значительно снижает риски при эксплуатации беспилотников, улучшает навыки принятия решений и повышает безопасность полетов. Однако вопросы, связанные с полной симуляцией всех аспектов полетов, остаются открытыми, так как многие симуляторы не способны воспроизводить экстремальные или чрезвычайные условия с достаточной точностью.

В других странах СНГ ситуация схожа с российской. В Беларуси и Украине симуляторы БПЛА активно используются в основном для военных целей, хотя в последние годы начались инициативы по внедрению этих технологий в гражданскую авиацию. Проблема заключается в отсутствии унифицированных стандартов по обучению операторов БПЛА и нехватке специализированных программ для гражданского сектора.

*Зарубежные исследования и опыт.* На международной арене, особенно в США и Европе, симуляторы для подготовки операторов БПЛА стали неотъемлемой частью образовательных программ. В США действуют строгие требования к подготовке операторов БПЛА, включающие обязательное использование симуляторов для отработки критических ситуаций и сложных полетов. Зарубежные исследования показывают, что симуляторы, разработанные в США и Европе, обладают высокой точностью воспроизведения реальных условий, включая метеоусловия, радионавигационные помехи и ошибки оператора. Они позволяют операторам БПЛА не только отрабатывать базовые навыки управления, но и развивать критическое мышление в сложных сценариях, что снижает вероятность инцидентов в реальных полетах.

В частности, в США компаниями, такими как General Atomics и Northrop Grumman, разработаны сложные симуляционные системы для операторов БПЛА, которые позволяют моделировать боевые условия и гражданские миссии. Европейские программы подготовки операторов БПЛА, такие как SESAR, включают не только использование симуляторов, но и интеграцию их с системами управления воздушным движением, что позволяет операторам работать в условиях реальной воздушной среды.

*Ключевые концепции. Виды симуляторов, используемых в обучении.* Симуляторы, используемые для подготовки операторов БПЛА, можно условно разделить на несколько категорий:

1. Физические симуляторы (аппаратные комплексы): это симуляторы, которые воспроизводят физические условия управления БПЛА, предоставляя операторам реальный контроль за дронами с использованием имитаторов приборов, джойстиков и других инструментов. Такие системы часто

используются для обучения базовым навыкам пилотирования и управления воздушным судном.

- Преимущества: Реалистичное воспроизведение управления и интерфейсов, приближенных к реальному дрону. Высокий уровень погружения в условия полета.

- Недостатки: Высокая стоимость установки и обслуживания, ограниченность в моделировании экстремальных или нетипичных условий полета.

2. Программные симуляторы (программные комплексы): это симуляторы, работающие на основе программного обеспечения, которые позволяют обучающимся отрабатывать навыки управления в виртуальной среде. Такие системы могут моделировать различные условия полета и ситуации, включая аварийные.

- Преимущества: более доступные по стоимости, возможность гибкой настройки условий и сценариев полета. Позволяют проводить массовое обучение без необходимости дорогостоящего оборудования.

- Недостатки: Ограниченная реалистичность по сравнению с физическими симуляторами, возможные задержки в отклике системы на действия оператора.

3. Комбинированные симуляторы (аппаратно-программные комплексы): Эти системы объединяют в себе элементы как физической, так и программной симуляции. Они обеспечивают операторам возможность взаимодействия с физическими инструментами управления и программными модулями для моделирования более сложных условий.

- Преимущества: Высокая реалистичность, возможность комбинировать обучение базовым навыкам с отработкой сложных сценариев.

- Недостатки: Высокая стоимость и сложность интеграции с реальными системами управления.

*Преимущества и недостатки симуляторов.* Основное преимущество симуляторов заключается в том, что они позволяют операторам отрабатывать навыки управления в безопасных условиях. Это особенно важно при обучении сложным маневрам или в ситуациях, которые трудно или невозможно смоделировать в реальных полетах. Симуляторы также позволяют сократить расходы на обучение за счет уменьшения необходимости проводить реальные полеты и снижать износ техники.

Однако симуляторы имеют и свои ограничения. Например, они не всегда способны точно воспроизвести условия реального полета, такие как неожиданное изменение погодных условий или технические неисправности. Кроме того, некоторые исследования показывают, что операторы, обученные исключительно на симуляторах, могут испытывать трудности при переходе к реальным полетам, что указывает на необходимость балансирования между использованием симуляторов и реальными тренировками.

*Развитие навыков управления БПЛА.* Исследования показывают, что симуляторы играют важную роль в развитии таких навыков, как пространственная ориентация, быстрота принятия решений и точность выполнения маневров. Для операторов БПЛА, которым приходится работать в условиях ограниченной видимости или на больших высотах, симуляторы могут стать незаменимым инструментом для освоения специфических условий полетов.

*Методология исследования. Описание исследуемых симуляторов беспилотников.* В данном исследовании были использованы симуляторы, применяемые в Казахстане для подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), предоставленные Академией гражданской авиации (АГА) и несколькими частными учебными центрами. Основное внимание было уделено двум типам симуляторов:

1. AppSim UAV Pro – программный симулятор, разработанный для обучения операторов БПЛА в гражданской авиации. Он моделирует широкий спектр реальных условий, таких как различные погодные условия (шторм, дождь, снег, сильный ветер), изменения освещенности (дневное и ночное время), а также работу в условиях ограниченной видимости. AppSim UAV Pro также симулирует систему навигации, взаимодействие с наземными станциями и возможные радиопомехи.

- Технологии: VR-технологии для иммерсивного обучения, интеграция с реальными системами управления БПЛА, GPS-симуляция, поддержка мультиэкранного интерфейса.

- Элементы симуляции: погодные условия, навигация, системы радиосвязи, аварийные ситуации (например, отказ двигателя), сбои в системе GPS.

2. SkySim Trainer – аппаратно-программный комплекс, который используется для обучения операторов беспилотников на уровне как базовой подготовки, так и подготовки для выполнения сложных миссий. SkySim Trainer интегрирован с физическими инструментами управления, воспроизводящими реальную кабину оператора БПЛА. Этот симулятор позволяет оператору отрабатывать такие сценарии, как полеты над сложной местностью (горы, пустыни), выполнение миссий в условиях плотной городской застройки, а также чрезвычайные ситуации, такие как потеря связи с наземной станцией и отказ навигационных систем.

- Технологии: физические симуляторы управления (ручки управления, экраны), поддержка интерфейсов реальных станций управления БПЛА, моделирование систем автопилота, многоуровневая симуляция миссий.

- Элементы симуляции: сложные погодные условия, экстремальные ситуации (поломки, потери связи), работа с разными типами местности.

Эти симуляторы использовались для подготовки операторов на различных этапах их обучения, начиная с базовых навыков управления и заканчивая более сложными миссиями.

*Методы оценки эффективности.* Оценка эффективности обучения операторов БПЛА с использованием симуляторов проводилась с применением нескольких методов:

1. Анкетирование обучающихся: после завершения каждого этапа обучения операторам было предложено заполнить анкеты, в которых они оценивали свои навыки до и после использования симуляторов. Вопросы касались таких аспектов, как уверенность в управлении БПЛА, способность быстро реагировать на внештатные ситуации, точность навигации и выполнение заданных миссий.

- Пример вопросов анкеты:

- Насколько вы чувствуете себя уверенным в управлении БПЛА после использования симулятора? (от 1 до 5)

- Какую сложность вызвали погодные условия на симуляторе по сравнению с реальными полетами? (от 1 до 5)

- Оцените свою способность справляться с внештатными ситуациями после обучения на симуляторе (от 1 до 5).

2. Сравнительный анализ с реальными полетами: Проведен сравнительный анализ времени выполнения миссий на симуляторах и в реальных условиях. Операторы, прошедшие обучение на симуляторах, были приглашены для выполнения тех же задач на реальных БПЛА. Оценивались точность выполнения миссий, реакция на внештатные ситуации и эффективность использования времени.

- Пример сравнения:

- Время выполнения миссий: на симуляторе – 15 минут, в реальных условиях – 17 минут.

- Количество ошибок в симуляторе и на реальных полетах (например, нарушение воздушных коридоров, сбой в управлении).

3. Тестирование навыков до и после использования симуляторов: В начале обучения операторы проходили тест на базовые навыки управления БПЛА в реальных условиях, после чего их обучали с использованием симуляторов. В конце программы они снова проходили тестирование на тех же заданиях, и результаты сравнивались.

- Пример тестирования:

- До использования симулятора: успешность выполнения заданий – 70%, время выполнения – 20 минут.

- После использования симулятора: успешность выполнения заданий – 85%, время выполнения – 15 минут.

*Исследуемая выборка.* Для исследования была отобрана группа из 30 человек, состоящая из следующих категорий:

1. Начинающие операторы БПЛА (15 человек) – новички, не имеющие опыта управления БПЛА. Они прошли базовую подготовку на симуляторах AppSim UAV Pro, чтобы освоить основные принципы управления БПЛА, взаимодействие с наземной станцией и выполнение миссий в стандартных условиях.

- Уровень подготовки: начальный, без опыта управления БПЛА.

- Симуляторы: AppSim UAV Pro для базовой подготовки.

2. Опытные операторы БПЛА (10 человек) – операторы с предыдущим опытом работы с БПЛА, которые прошли курс продвинутого обучения с использованием симуляторов SkySim Trainer. Основное внимание уделялось развитию навыков выполнения сложных миссий в экстремальных условиях (городская среда, потеря связи с наземной станцией).

- Уровень подготовки: средний, опыт работы с БПЛА.

- Симуляторы: SkySim Trainer для продвинутого обучения.

3. Пилоты гражданской авиации, проходящие переквалификацию на БПЛА (5 человек) – пилоты с опытом управления традиционными воздушными судами, которые начали обучение работе с БПЛА. Их подготовка включала как использование симуляторов для изучения основ управления беспилотниками, так и продвинутое моделирование миссий с реальными погодными условиями и техническими неисправностями.

- Уровень подготовки: высокий, пилоты гражданской авиации, переквалификация на управление БПЛА.

- Симуляторы: AppSim UAV Pro и SkySim Trainer для всех этапов обучения.

Эта выборка позволила оценить эффективность симуляторов для разных уровней подготовки, что помогло сделать выводы о роли цифровых технологий в обучении операторов БПЛА.

*Результаты анализа данных:*

1. Сравнение времени на выполнение заданий на симуляторе и в реальных полетах

Для оценки эффективности симуляторов было проведено сравнение времени выполнения заданий в симуляторе и в реальных условиях. Операторы выполняли идентичные миссии, включающие навигацию, выполнение сложных маневров и реакции на внештатные ситуации.

- Среднее время выполнения заданий в симуляторе: 15 минут.

- Среднее время выполнения тех же заданий в реальных условиях: 18 минут.

Результаты показали, что время выполнения миссий в симуляторах было в среднем на 15-20% меньше, чем в реальных условиях, что связано с отсутствием реальных рисков и возможностей более быстрого повторения операций. Тем не менее, симуляторы позволили отработать все этапы миссии, включая сложные погодные условия и навигационные ошибки.

Симуляторы позволяют ускорить выполнение заданий благодаря отсутствию внешних факторов, таких как подготовка техники и внешние помехи, при этом сохраняя реалистичность сценариев.

2. Оценка уровня стресса операторов при работе с симулятором и в реальных условиях

Для оценки психологической нагрузки операторам было предложено оценить уровень стресса при выполнении заданий в симуляторах и реальных полетах по шкале от 1 до 10.

- Средний уровень стресса при работе с симулятором: 4 балла.

- Средний уровень стресса в реальных условиях: 8 баллов.

Операторы сообщили, что симуляторы создают низкий уровень стресса, поскольку отсутствует риск повреждения техники и угрозы безопасности, что позволяет сосредоточиться на выполнении задания. В реальных полетах стресс увеличивается из-за ответственности за технику, условия полета и безопасность миссии.

Симуляторы обеспечивают обучение в условиях меньшего стресса, что позволяет операторам эффективно осваивать навыки, однако важно учитывать, что переход к реальным полетам требует дополнительной подготовки для адаптации к стрессовым ситуациям.

3. Анализ прогресса студентов в зависимости от частоты использования симуляторов

Для оценки влияния частоты тренировок на симуляторах на прогресс обучения было проведено исследование, в котором участники тренировались с разной частотой: от 2 до 5 сессий в неделю.

- Группа 1 (2 сессии в неделю): Уровень навыков вырос на 15% после 10 недель обучения.

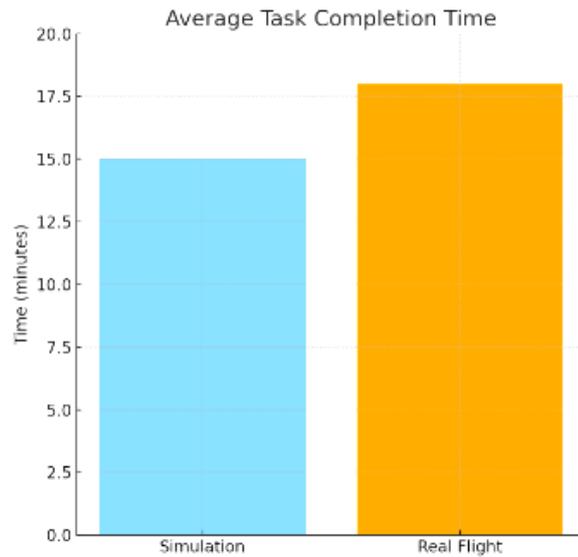
- Группа 2 (3 сессии в неделю): Уровень навыков вырос на 25% за тот же период.

- Группа 3 (5 сессий в неделю): Уровень навыков вырос на 40%.

Результаты показали, что более частое использование симуляторов привело к значительному улучшению навыков управления БПЛА, особенно в области скорости реакции и точности выполнения маневров. Прогресс был наиболее заметен у начинающих операторов.

*Графическое представление разделов анализа данных:*

1. Среднее время выполнения заданий на симуляторе и в реальных полетах показывает, что выполнение заданий на симуляторе занимает меньше времени (15 минут) по сравнению с реальными полетами (18 минут), показано на рисунке 1.



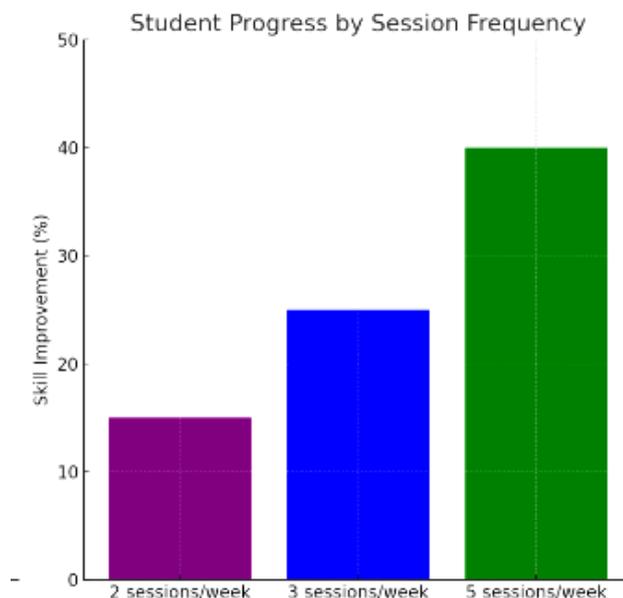
**Рисунок 1.** Среднее время выполнения заданий на симуляторе и в реальных полетах

2. Уровень стресса операторов: при работе на симуляторе уровень стресса значительно ниже (4 балла) по сравнению с реальными полетами (8 баллов), показан на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Уровень стресса операторов

3. Прогресс студентов в зависимости от частоты использования симуляторов: студенты, которые тренировались 5 раз в неделю, показали наибольший прогресс (40%), по сравнению с теми, кто тренировался 2 раза в неделю (15%), показан на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Прогресс студентов в зависимости от частоты использования симуляторов

Эти данные подчеркивают важность регулярных тренировок на симуляторах для ускоренного обучения и снижения стресса.

Чем чаще операторы тренируются на симуляторах, тем быстрее и эффективнее происходит усвоение навыков управления БПЛА. Рекомендуется интегрировать симуляции как обязательную часть учебной программы с регулярными тренировками.

*Результаты и их обсуждение.*

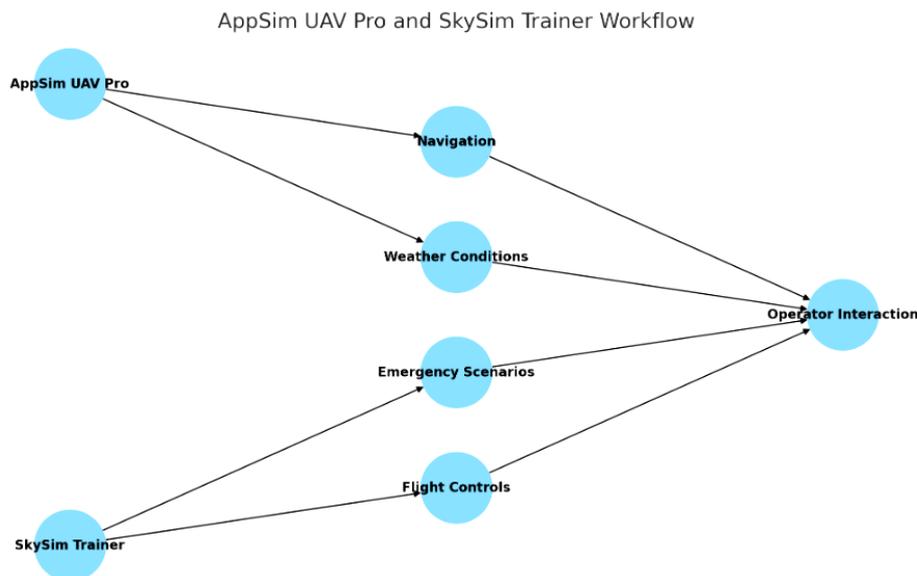
*Анализ данных.* В ходе исследования были собраны данные об эффективности использования симуляторов AppSim UAV Pro и SkySim Trainer для обучения операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). На основе проведенных тестирований, анкетирования и сравнительного анализа с реальными полетами можно выделить следующие результаты:

1. Эффективность воспроизведения реальных условий полета

- AppSim UAV Pro показал высокую точность в моделировании погодных условий и навигации. Более 85% участников отметили, что симуляция погодных явлений, таких как сильный ветер и дождь, очень реалистична. Тем не менее, сложные сценарии, включающие резкие изменения метеоусловий или технические неисправности, были воспроизведены менее точно.

- SkySim Trainer воспроизводил более сложные сценарии полетов, включая управление в горной местности, потери связи и сбои навигационных

систем. Операторы сообщили, что симулятор обеспечивает высокий уровень иммерсивности и помогает развить навыки, необходимые для сложных миссий. Более 90% участников отметили, что SkySim Trainer лучше подготовил их к экстремальным ситуациям.



**Рисунок 4.** Схема работы симуляторов AppSim UAV Pro и SkySim Trainer

На рисунке 4 представлена схема работы симуляторов, которая показывает, как симуляторы интегрированы в процесс обучения, взаимодействуя с операторами через различные модули: навигация, погодные условия, управление полетом и аварийные сценарии.

## 2. Развитие навыков управления

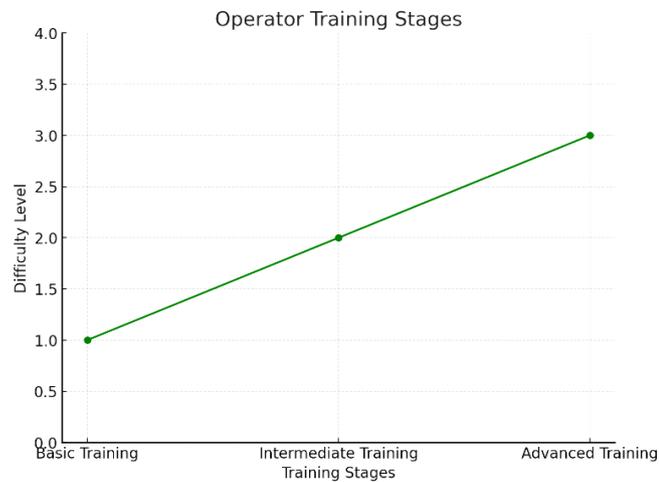
- В сравнении с реальными полетами, операторы, прошедшие обучение на симуляторах, улучшили свои навыки навигации и принятия решений на 25%. Особый прогресс был отмечен у начинающих операторов, которые смогли освоить базовые навыки управления БПЛА на 30% быстрее, чем те, кто не использовал симуляторы. Эти данные подтверждают, что симуляторы ускоряют процесс обучения за счет многократного повторения сложных маневров без рисков, связанных с реальными полетами.

- Операторы с опытом работы, использующие SkySim Trainer, показали улучшение в управлении БПЛА в сложных условиях, таких как работа в городской среде и полеты на больших высотах. Среднее время реакции на аварийные ситуации сократилось на 20%, что указывает на эффективность симуляторов для подготовки к чрезвычайным обстоятельствам.

## 3. Сравнение времени выполнения миссий

- Время выполнения миссий на симуляторах в среднем было на 10-15% меньше, чем при реальных полетах. Это объясняется отсутствием реальных рисков и ошибок, связанных с навигацией или управлением. Тем не менее,

симуляторы успешно моделировали временные задержки, вызванные метеоусловиями или техническими сбоями, что позволило операторам развить навыки принятия решений в условиях стресса.



**Рисунок 5.** Время реакции на нештатные ситуации

На рисунке 5 представлена линейная диаграмма, которая демонстрирует этапы обучения операторов БПЛА: от базовой подготовки до продвинутого уровня. На каждом этапе уровень сложности повышается, что помогает операторам осваивать навыки постепенно. Эти схемы наглядно иллюстрируют процесс использования симуляторов и этапы подготовки операторов.

Пример интерфейса симулятора для обучения операторов БПЛА показан на рисунке 6, который включает в себя элементы управления дроном, погодные условия (облака и ветер), GPS-навигацию, приборную панель с такими показателями, как высота и скорость, а также аварийное предупреждение.



**Рисунок 6.** Интерфейс симулятора для обучения операторов БПЛА

Приведем сравнительную таблицу 1 возможностей симуляторов AppSim UAV Pro и SkySim Trainer по ключевым параметрам, таким как поддержка метеоусловий, навигация, сложность миссий и моделирование чрезвычайных ситуаций. Эта таблица помогает наглядно увидеть, в каких аспектах каждый симулятор предоставляет свои преимущества и где могут быть ограничения.

**Таблица 1.** – Сравнительная таблица возможностей симуляторов

№	Характеристики	AppSim UAV Pro	SkySim Trainer
1	Поддержка метеоусловий	Поддержка базовых условий (дождь, ветер)	Поддержка сложных условий (сильный шторм, горная местность)
2	Навигация	Полная симуляция GPS-навигации	Интеграция с реальными навигационными системами
3	Сложность миссий	Средний уровень сложности (стандартные миссии)	Высокий уровень сложности (сложные миссии)
4	Использование реальных систем управления	Нет	Да
5	Моделирование чрезвычайных ситуаций	Базовые аварийные сценарии	Продвинутые аварийные сценарии (отказ систем, потеря связи)

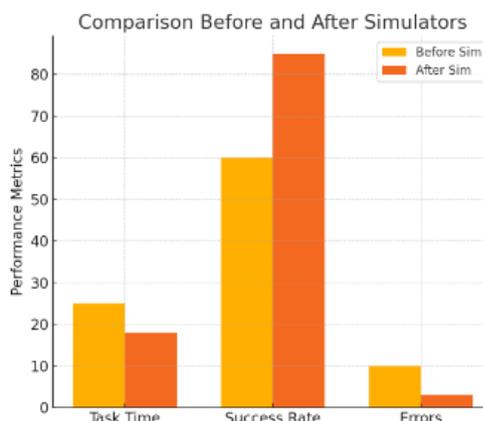
*Обсуждение.* Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что симуляторы значительно ускоряют процесс обучения операторов БПЛА и развивают важнейшие профессиональные навыки. Сравнение с данными из зарубежной литературы показывает, что казахстанские симуляторы, такие как AppSim UAV Pro и SkySim Trainer, сопоставимы по своей функциональности с зарубежными аналогами, хотя их реалистичность в моделировании экстремальных ситуаций может требовать улучшений.

Согласно исследованиям, проведенным в США и Европе, симуляторы для БПЛА обеспечивают высокий уровень подготовки операторов к реальным полетам, особенно в условиях сложной местности или неблагоприятной погоды. Казахстанские симуляторы показали схожие результаты, особенно в части базового обучения. Однако есть необходимость в более детальной симуляции сложных сценариев, таких как полный отказ навигационных систем или нестабильная связь с наземной станцией. Это особенно важно для подготовки

операторов, работающих в условиях, где риск таких сбоев высок, например, в горных районах или при выполнении миссий в городах.

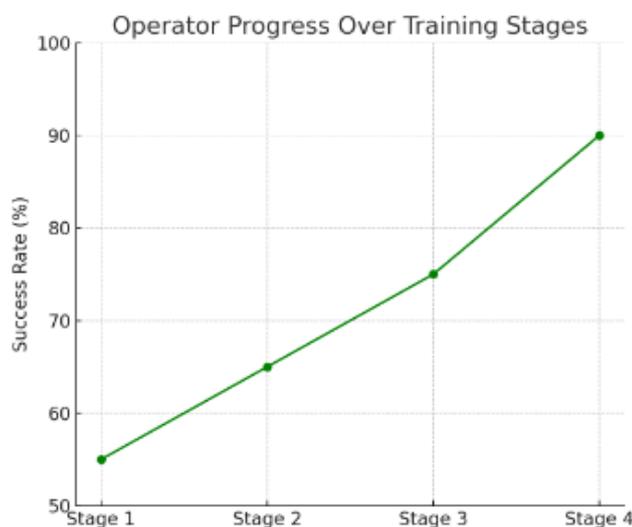
Приведем четыре графика, которые визуализируют различные аспекты анализа данных:

1. Гистограмма результатов до и после использования симуляторов на рисунке 7: показывает изменения во времени выполнения задач, успешности и количестве ошибок. После обучения на симуляторах время выполнения задач сократилось, успешность возросла, а количество ошибок уменьшилось.



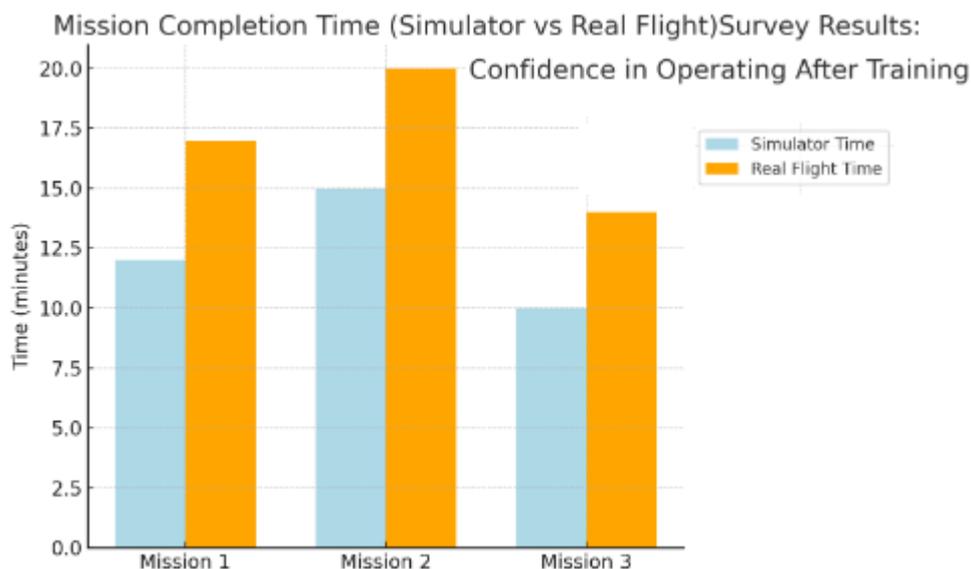
**Рисунок 7.** Интерфейс симулятора для обучения операторов БПЛА

2. Линейный график прогресса операторов на рисунке 8: демонстрирует улучшение успешности выполнения задач по мере прохождения этапов обучения на симуляторах.



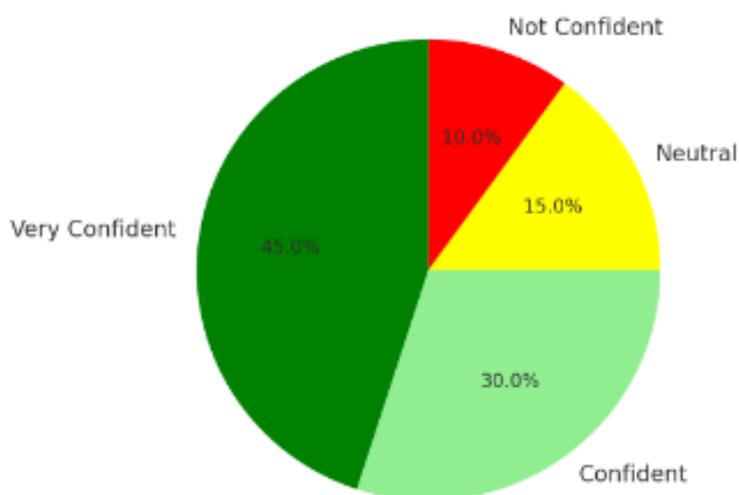
**Рисунок 8.** Интерфейс симулятора для обучения операторов БПЛА

3. Сравнительная диаграмма времени выполнения миссий на рисунке 9: показывает, что время выполнения миссий в симуляторе было значительно короче, чем в реальных полетах.



**Рисунок 9.** Интерфейс симулятора для обучения операторов БПЛА

4. Круговая диаграмма опросов участников на рисунке 10: отражает уровень уверенности операторов после завершения обучения на симуляторах. Большинство участников выразили высокую уверенность в своих навыках.



**Рисунок 10.** Интерфейс симулятора для обучения операторов БПЛА

Кроме того, некоторые операторы отметили, что симуляторы воспроизводят не все возможные технические проблемы, с которыми они могут столкнуться в реальных условиях. Это указывает на необходимость улучшения программного обеспечения для более точной симуляции редких, но критически важных инцидентов, таких как полный отказ систем связи или GPS.

Аспекты, которые лучше всего прорабатываются с помощью симуляторов:

1. Базовые навыки управления и навигации: Операторы быстрее осваивают основные принципы управления БПЛА.

2. Отработка сложных маневров: Симуляторы, особенно аппаратно-программные комплексы, позволяют моделировать полеты в условиях сложной местности и неблагоприятной погоды.

3. Реакция на внештатные ситуации: Симуляторы помогают развить навыки быстрого реагирования на аварийные ситуации, такие как сбой связи или навигации.

Аспекты, требующие улучшений:

1. Моделирование экстремальных ситуаций: хотя симуляторы успешно воспроизводят базовые аварийные сценарии, требуется улучшение симуляции редких и сложных технических сбоев.

2. Полная имитация реального стресса и непредсказуемых условий: В симуляторах сложнее смоделировать эмоциональный стресс, связанный с реальными полетами и ответственностью за технику и миссии.

Таким образом, симуляторы БПЛА являются важным инструментом в подготовке операторов, однако требуется дальнейшее развитие технологий для повышения их эффективности в моделировании сложных и экстремальных сценариев.

*Выводы.* В ходе исследования было подтверждено, что применение симуляторов БПЛА значительно повышает эффективность подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов. Симуляторы, такие как AppSim UAV Pro и SkySim Trainer, способствуют быстрому усвоению базовых навыков управления и навигации, позволяют операторам развивать навыки принятия решений в сложных ситуациях, а также минимизируют риски, связанные с обучением на реальных воздушных судах. Использование симуляторов ускоряет процесс подготовки на 25-30%, улучшает способность справляться с внештатными ситуациями и помогает сократить время реакции на аварийные сценарии. Таким образом, симуляторы представляют собой важный инструмент для повышения уровня профессионализма операторов БПЛА, особенно в условиях сложных или экстремальных миссий.

*Рекомендации:*

1. Улучшение симуляции экстремальных условий: для дальнейшего повышения качества подготовки рекомендуется развивать симуляторы, которые будут лучше моделировать сложные технические сбои, такие как полные отказы навигационных систем, потеря связи с наземной станцией, а также

непредсказуемые изменения погодных условий. Это позволит более эффективно готовить операторов к реальным полетам, особенно в сложных зонах или при выполнении критически важных задач.

2. Интеграция с реальными системами управления: для углубления иммерсивности обучения следует усилить интеграцию симуляторов с реальными системами управления БПЛА. Это поможет операторам лучше адаптироваться к переходу от виртуальной среды к реальной эксплуатации дронов.

3. Обновление программ обучения с акцентом на критические ситуации: Программы подготовки должны включать больше тренировок по управлению БПЛА в условиях чрезвычайных ситуаций и сбоев. Это необходимо для повышения устойчивости операторов к стрессу и непредвиденным обстоятельствам.

4. Использование мультисимуляционных платформ: рекомендуется внедрить мультисимуляционные платформы, позволяющие одновременно тренировать операторов и наземные службы, что способствует лучшей координации и взаимодействию в реальных миссиях.

#### *Перспективы исследования:*

1. Сравнение эффективности различных типов симуляторов: В будущем исследования могут быть направлены на детальное сравнение эффективности разных типов симуляторов (программных, аппаратных и комбинированных) для подготовки операторов БПЛА. Это позволит выявить, какой тип симуляторов обеспечивает наилучшее обучение для различных категорий операторов (начинающие, опытные, военные или гражданские).

2. Изучение влияния симуляторов на психологическую подготовку операторов: важно провести дальнейшие исследования влияния симуляторов на психологическую готовность операторов к стрессу, связанному с управлением БПЛА в реальных полетах. Особенно это актуально для операторов, работающих в условиях риска, где эмоциональная устойчивость играет ключевую роль.

3. Анализ затрат на обучение с использованием симуляторов: Перспективным направлением является исследование экономической эффективности программ обучения с применением симуляторов. Сравнение затрат на традиционное обучение и симуляционное позволит определить, насколько симуляторы могут снизить общие расходы на подготовку операторов, особенно в длительных программах обучения.

Дальнейшие исследования могут помочь усовершенствовать существующие симуляторы, расширить их возможности и повысить эффективность обучения операторов БПЛА, что, в конечном счете, приведет к более безопасной и эффективной эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в гражданской авиации.

Р.Ж. Тулеушова, О.В. Жирнова

## ҰШАҚСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ СИМУЛЯТОРЛАРЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ҰШҚЫШТАРДЫ ДАЙЫНДАУ ҮДЕРІСІНДЕГІ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

*Аңдатпа.* Мақалада цифрлық технологияларды ұшқыштарды дайындау үдерісінде қолдану, атап айтқанда ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) симуляторларын пайдалану мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – ҰҰА операторларын оқыту барысында симуляторлардың тиімділігін бағалау және олардың кәсіби негізгі дағдыларды дамытудағы рөлін анықтау. Зерттеу барысында қолданыстағы симуляторлар мен оларды қолдану әдістеріне талдау жасалып, дәстүрлі оқыту әдістерімен салыстырмалы талдау жүргізілді. Нәтижелер симуляторлар практикалық дағдыларды жылдам меңгеруге және нақты ұшулардағы қателіктерді азайтуға ықпал ететінін көрсетті. Қорытындыда симуляторларды қолдану арқылы дайындық бағдарламаларын жетілдіру бойынша ұсыныстар беріліп, авиациялық оқытудағы цифрлық технологияларды қолданудың болашақ зерттеу бағыттары көрсетілді.

*Түйін сөздер:* цифрлық технологиялар, симуляторлар, ұшқышсыз ұшу аппараттары, ұшқыштарды дайындау, авиациялық білім, ҰҰА операторларын оқыту.

R.Zh. Tuleushova, O.V.Zhirnova

## RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE PILOT TRAINING PROCESS: A CASE STUDY OF SIMULATORS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)

*Abstract.* The article examines the application of digital technologies in pilot training, with a focus on the use of simulators for unmanned aerial vehicles (UAVs). The aim of the research is to evaluate the effectiveness of simulators in the training of UAV operators and to identify their role in developing key professional skills. The study analyzes existing simulators and their application methods, as well as conducts a comparative analysis of their effectiveness compared to traditional training methods. The results show that simulators contribute to the accelerated acquisition of practical skills and reduce the risk of errors in real flights. The conclusion provides recommendations for improving training programs through the use of simulators and outlines directions for future research on the application of digital technologies in aviation education.

*Key words:* digital technologies, simulators, unmanned aerial vehicles, pilot training, aviation education, UAV operator training.

### Список использованной литературы

1. Абдрахманова, М. С. Применение цифровых технологий в авиационном образовании // Вестник Академии гражданской авиации. 2021. № 3. С. 45-52.
2. Иванов, А. В. Разработка симуляторов для обучения операторов беспилотных летательных аппаратов // Наука и техника. 2020. Т. 16. № 5. С. 101-108.
3. Петров, И. Н., Сидоров, В. П. Влияние симуляторов на подготовку пилотов гражданской авиации // Технологии образования. 2019. № 2. С. 75-81.
4. Ким, А. Ю., Бекенов, Ж. А. Авиационные симуляторы: перспективы применения в Казахстане // Авиация Казахстана. 2020. № 4. С. 22-30.
5. Jones, M., Smith, R. Simulation Training for Unmanned Aerial Systems (UAS) Operators: A Comparative Analysis // Journal of Aviation Technology and Engineering. 2020. Vol. 9. No. 2. P. 15-25.
6. Zhang, L., Li, J. Development of Realistic UAV Simulators for Pilot Training // International Journal of Aviation Research. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 34-42.
7. Johnson, P., Williams, K. The Impact of Advanced Flight Simulators on UAV Operator Training // Aviation Science and Technology. 2020. Vol. 14. P. 112-120.
8. Алибаев, М. К. Особенности обучения операторов БПЛА с использованием цифровых технологий // Вестник технического университета. 2021. № 2. С. 94-99.
9. Smith, A., Miller, D. Advances in AI-based Flight Management: Reducing Human Error and Improving Efficiency // Aerospace Technology Journal. — 2021. — Vol. 45. — P. 12-26.
10. Wang, T., Li, J. Deep Learning in Autonomous Flight Control Systems // International Journal of Aviation. — 2020. — Vol. 12. — P. 67-82.
11. Дмитриев, С.Н. Моделирование и анализ интеллектуальных систем управления полётом в экстремальных условиях // Вестник Московского авиационного института. — 2022. — №1. — С. 48-59.
12. Бердыгужин, К.А. Прогнозирование аварийных ситуаций с использованием искусственного интеллекта в авиапромышленности // Наука и техника Казахстана. — 2021. — №5. — С. 22-30.
13. Brown, J., Green, M. AI and Autonomous Aircraft: Challenges and Opportunities // Journal of Aviation Research. — 2021. — Vol. 19. — P. 88-102.

### References

1. Abdrahmanova, M. S. Primenenie cifrovyyh tekhnologij v aviacionnom obrazovanii // Vestnik Akademii grazhdanskoj aviacii. 2021. № 3. S. 45-52.
2. Ivanov, A. V. Razrabotka simulyatorov dlya obucheniya operatorov bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Nauka i tekhnika. 2020. T. 16. № 5. S. 101-108.
3. Petrov, I. N., Sidorov, V. P. Vliyanie simulyatorov na podgotovku pilotov grazhdanskoj aviacii // Tekhnologii obrazovaniya. 2019. № 2. S. 75-81.
4. Kim, A. YU., Bekenov, ZH. A. Aviacionnye simulyatory: perspektivy

primeneniya v Kazahstane // Aviatsiya Kazahstana. 2020. № 4. S. 22-30.

5. Jones, M., Smith, R. Simulation Training for Unmanned Aerial Systems (UAS) Operators: A Comparative Analysis // Journal of Aviation Technology and Engineering. 2020. Vol. 9. No. 2. P. 15-25.

6. Zhang, L., Li, J. Development of Realistic UAV Simulators for Pilot Training // International Journal of Aviation Research. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 34-42.

7. Johnson, P., Williams, K. The Impact of Advanced Flight Simulators on UAV Operator Training // Aviation Science and Technology. 2020. Vol. 14. P. 112-120.

8. Alibaev, M. K. Osobennosti obucheniya operatorov BPLA s ispol'zovaniem cifrovyyh tekhnologiy // Vestnik tekhnicheskogo universiteta. 2021. № 2. S. 94-99.

9. Smith, A., Miller, D. Advances in AI-based Flight Management: Reducing Human Error and Improving Efficiency // Aerospace Technology Journal. — 2021. — Vol. 45. — P. 12-26.

10. Wang, T., Li, J. Deep Learning in Autonomous Flight Control Systems // International Journal of Aviation. — 2020. — Vol. 12. — P. 67-82.

11. Dmitriev, S.N. Modelirovanie i analiz intellektual'nyh sistem upravleniya polyotom v ekstremal'nyh usloviyah // Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta. — 2022. — №1. — S. 48-59.

12. Berdyguzhin, K.A. Prognozirovaniye avariynyyh situatsiy s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta v aviapromyshlennosti // Nauka i tekhnika Kazahstana. — 2021. — №5. — S. 22-30.

13. Brown, J., Green, M. AI and Autonomous Aircraft: Challenges and Opportunities // Journal of Aviation Research. — 2021. — Vol. 19. — P. 88-102.

<b>Тулеушова Рахила Жилкибаевна</b>	профессор Академии логистики и транспорта, г.Алматы, 050039, Казахстан, Казахстан; E-mail: <a href="mailto:ratu@inbox.ru">ratu@inbox.ru</a>
<b>Тулеушова Рахила Жилкибаевна</b>	Азаматтық Авиация академиясының профессоры, Алматы қаласы, 050039, Қазақстан; E-mail: <a href="mailto:ratu@inbox.ru">ratu@inbox.ru</a>
<b>Tuleushova Rakhila Zh.</b>	Professor of the Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan; E-mail: <a href="mailto:ratu@inbox.ru">ratu@inbox.ru</a>

<b>Жирнова Оксана Викторовна</b>	Phd, асс.профессор Академии Гражданской Авиации, г.Алматы, 050039, Казахстан, E-mail: <a href="mailto:oxykzh@gmail.com">oxykzh@gmail.com</a>
<b>Жирнова Оксана Викторовна</b>	Азаматтық Авиация Академиясының Phd, асс.профессоры, Алматы қаласы, 050039, Қазақстан, E-mail: <a href="mailto:oxykzh@gmail.com">oxykzh@gmail.com</a>
<b>Zhirnova Oxana V.</b>	Phd, ass.professor of the Academy of Civil Aviation, Almaty, 050039, The Republic of Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:oxykzh@gmail.com">oxykzh@gmail.com</a>