

УДК 159.9

ГРНТИ 15.81.31

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОТБОРУ И ОБУЧЕНИЮ ОПЕРАТОРОВ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМУЛЯТОРОВ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

© 2025 г. К.К. Грибачев*, Д.Г. Галко **

** Студент, Брянский государственный технический университет; г. Брянск, Россия
e-mail: zorgetauh@gmail.com*

*** Студент, Брянский государственный технический университет; г. Брянск, Россия
e-mail: galko.02@yandex.ru*

В работе представлен комплексный подход к отбору и подготовке операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), включая этапы и критерии профессионального отбора, учитывающие особенности профессии. Рассмотрены методы медицинской, психофизиологической и психологической оценки, направленные на выявление физической и эмоциональной устойчивости кандидатов. Разработаны математические модели для анализа пригодности операторов, использующие методы корреляционного и регрессионного анализа, а также теорию распознавания образов. Описаны современные симуляторы (представляют собой программное обеспечение, которое имитирует физические особенности управления), такие как Liftoff, Liftoff: Micro Drones, Freerider, Труп FPV, Wings Simulator, Квадросим, Небо-22, их роль в подготовке операторов, преимущества и недостатки. Проведен анализ эффективности использования симуляторов в различных этапах обучения, включая базовую и продвинутую тренировочную подготовку. Адаптированы формулы прогнозирования пригодности к специфическим условиям работы операторов. Работа включает рекомендации по улучшению методов отбора и подготовки, а также предложения по развитию технологий симуляции для операторов БПЛА. Также уделено внимание интеграции VR/AR технологий для повышения уровня погружения в учебный процесс. Приведены статистические данные результата применения симуляторов в обучении совместно с практическими полетами, так и результаты отсутствия симулятора в обучении. Предложена анкета для определения принадлежности операторов БПЛА на основе личностных качеств. Сделаны выводы о необходимости интеграции современных

симуляторов и методов анализа в систему подготовки операторов для повышения их профессиональной устойчивости и готовности к выполнению сложных задач, о комбинированном подходе применения тренажерного программного обеспечения для высокоэффективного обучения операторов БПЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, профессиональная подготовка, профессиональный отбор, симуляторы, комплексный подход, виртуальная реальность (VR), современные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях операторские компетенции становятся ключевым фактором эффективного использования беспилотных летательных аппаратов. Системы «человек-машина-среда», к которым принадлежат БПЛА, требуют от операторов не только высокой точности и надежности, но и способности адаптироваться к быстро меняющимся условиям. Это особенно важно в сферах, связанных с национальной безопасностью, спасательными операциями и коммерческими проектами, где ошибки в управлении могут привести к серьезным последствиям (Кондратенко, 2015).

Проблема профессионального отбора и подготовки операторов БПЛА заключается в необходимости учета множества факторов: от медицинских и психофизиологических показателей до адаптивных навыков и устойчивости к стрессу. Важность этого вопроса подчеркивается высокими требованиями к квалификации операторов, обусловленными как сложностью самой техники, так и высокими рисками при выполнении полетов (Караяни, 2021).

Также стоит упомянуть заявление от 16 декабря 2024 года министра обороны вооруженных сил Российской Федерации Андрей Рэмовича Белоусова, что планируется к третьему кварталу 2025 года сформировать новый род войск — Войска беспилотных систем. В связи с этим стоит детально подходить к отбору операторов БПЛА.

Цель данной статьи — рассмотреть теоретические и прикладные аспекты профессионального отбора и подготовки операторов БПЛА. Внимание уделено следующим задачам:

- анализу критериев профессиональной пригодности;

- изучению математических моделей для отбора;
- оценке эффективности тренажерных технологий и их роли в подготовке операторов.

Поставленные задачи ориентированы на решение ключевой проблемы: как обеспечить высокую степень готовности операторов, минимизируя риски и повышая надежность их деятельности. Полученные результаты могут быть полезны для специалистов, разрабатывающих программы отбора и обучения операторов БПЛА, а также для организаций, внедряющих эти технологии в свою деятельность.

Критерии и этапы профессионального отбора операторов БПЛА

Профессиональный отбор операторов БПЛА представляет собой многоступенчатый процесс, направленный на выявление кандидатов, способных к успешному обучению и выполнению операторских функций в сложных условиях. Этот процесс базируется на ряде ключевых принципов и включает оценку различных аспектов личности и профессиональных навыков (Иванов, 2023).

Принципы профессионального отбора (Бодров, Малкин, Покровский, Шпаченко, 1984):

1. *Системность*: отбор основывается на комплексном анализе медицинских, психофизиологических, психологических и профессиональных параметров.

2. *Адаптивность*: учитываются специфические требования различных видов деятельности операторов БПЛА, включая военное и гражданское применение.

3. *Объективность*: используется научно обоснованный подход к оценке кандидатов, включающий стандартные тесты и модели.

4. *Безопасность*: внимание уделяется способности кандидата работать в экстремальных ситуациях с минимальным риском ошибок (Бодров, Малкин, Покровский, Шпаченко, 1984).

Основные компоненты профессионального отбора

Отбор операторов БПЛА можно условно разделить на четыре взаимосвязанных направления (Кокина, Кунцевич, Дьяков, 2024):

1. *Медицинский отбор*

Цель: определить физическое состояние кандидата и отсутствие противопоказаний для выполнения операторской деятельности.

Методы: оценка состояния здоровья, функциональности систем организма, уровня физической подготовки.

2. *Психофизиологический отбор*

-Цель: выявить индивидуальные особенности нервной системы и уровень готовности кандидата к работе в стрессовых условиях.

-Показатели:

- Быстрота и точность реакции.

- Устойчивость к утомлению.

- Способность адаптироваться к изменениям обстановки.

Методы: тестирование на тренажерах, мониторинг когнитивных функций и сенсомоторных реакций.

3. *Педагогический отбор*

Цель: оценить уровень знаний и умений, необходимых для освоения программ подготовки операторов БПЛА.

Методы:

- Проверка образовательного уровня кандидатов.

- Анализ знаний в области управления техниками и системами.

- Оценка практических навыков.

4. *Психологический отбор*

Цель: выявить мотивацию, профессиональную направленность, интеллектуальные и личностные качества кандидата.

Методы:

- Проведение психологических тестов.
- Оценка стрессоустойчивости и коммуникативных способностей.
- Анализ уровня эмоциональной стабильности и работоспособности.

Операторы БПЛА часто работают в ситуациях, требующих высокой концентрации, быстрой реакции и принятия решений с минимальным временем на анализ. Принципы и направления отбора ориентированы на минимизацию рисков, связанных с человеческим фактором, что особенно важно при выполнении задач в условиях повышенной ответственности, например, в военной авиации или спасательных операциях (Иванов, 2023).

Системный подход к профессиональному отбору обеспечивает не только успешное обучение операторов, но и их готовность к выполнению задач в сложных условиях эксплуатации БПЛА.

Этапы профессионального отбора операторов БПЛА

Процесс профессионального отбора операторов БПЛА представляет собой структурированный подход к выявлению кандидатов, обладающих необходимыми навыками и качествами. Разделенный на три основных этапа, он обеспечивает объективность, системность и глубину оценки. Каждый этап направлен на анализ отдельных сторон готовности кандидата к выполнению операторских задач.

1. Медицинское обследование

Первый этап включает оценку физического состояния кандидата, необходимого для безопасного и стабильного выполнения операторских функций (Кокина, Кунцевич, Дьяков, Фурманов, 2024).

- *Оценка общего состояния здоровья:*

Диагностируются ключевые физиологические параметры (зрение, работа сердечно-сосудистой и дыхательной систем). Выявляются возможные противопоказания.

- *Проверка физической подготовки:*

Определяются выносливость, координация движений и способность длительно сохранять статичную позу.

- Выявление медицинских противопоказаний:

Исключаются кандидаты с хроническими заболеваниями, которые могут повлиять на их работоспособность или реакцию на стрессовые ситуации.

Результаты медицинского обследования служат основой для допуска кандидата к следующему этапу отбора.

2. Психофизиологическая и психологическая оценка

Второй этап направлен на изучение психофизиологических возможностей и психологических качеств, критически важных для оператора БПЛА.

- Психофизиологические тесты:

• Измерение точности и скорости реакций (оценивается способность быстро и адекватно реагировать на изменения в обстановке).

Для измерения точности и скорости реакции испытуемого в процессе профессионального отбора операторов можно использовать модель анализа времени реакции и ошибок в выполнении заданий (Беспалов, 2014).

E — интегральная оценка эффективности реакции (баллы);

T — среднее время реакции на стимулы (в секундах);

ϵ — доля ошибок при выполнении заданий (в долях от 1, например, $\epsilon=0.1$, если 10% ответов оказались неверными).

$$E = \frac{1}{T} \times (1 - \epsilon) \quad (1)$$

• Тестирование стрессоустойчивости (проверяется, насколько кандидат способен эффективно работать в условиях давления и риска).

Для тестирования стрессоустойчивости предлагается использовать формулу, основанную на анализе изменения производительности в условиях стресса по сравнению с нормальными условиями. В расчет дополнительные параметры, такие как реакция на

эмоциональный стресс, физическая усталость и воздействие внешних факторов (например, шум или давление времени).

S — общий показатель стрессоустойчивости (в процентах);

$P_{\text{норма}}$ — производительность в нормальных условиях (например, точность выполнения задания);

$P_{\text{стресс}}$ — производительность в стрессовых условиях (аналогичные показатели в условиях стресса);

$T_{\text{норма}}$ — время выполнения задания в нормальных условиях (например, время реакции);

$T_{\text{стресс}}$ — время выполнения задания в стрессовых условиях;

$E_{\text{норма}}$ — количество ошибок в нормальных условиях;

$E_{\text{стресс}}$ — количество ошибок в стрессовых условиях;

W_1, W_2, W_3 — весовые коэффициенты для каждого из компонентов (процесс реакции, времени и ошибок).

$$S = \left(\frac{P_{\text{норма}} - P_{\text{стресс}}}{P_{\text{норма}}} \right) \times W_1 + \left(\frac{T_{\text{стресс}} - T_{\text{норма}}}{T_{\text{норма}}} \right) \times W_2 + \left(\frac{E_{\text{стресс}}}{E_{\text{норма}}} \right) \times W_3 \quad (2)$$

- *Психологические тесты* (Платонов, Гольдштейн 1987):

- Оценка когнитивных способностей (анализируются память, внимание, способность к анализу и прогнозированию). В данном случае оценку стоит проводить через тесты на внимание (задания, где испытуемый должен отслеживать быстро меняющиеся объекты или реагировать на неожиданные сигналы, пример: выделение определенного объекта на экране среди множества других) и тесты на многозадачность (задания, где требуется выполнение нескольких действий одновременно, например, управление БПЛА при отслеживании других объектов).

- Выявление эмоциональной стабильности (оценивается устойчивость к тревожности, склонность к принятию рациональных решений). В данном случае оценка будет производиться через тесты Кэттелла (16PF) (используются для выявления эмоциональной устойчивости, склонности к тревожности и импульсивности), тесты на

уровень тревожности (например, шкала СПАИ — шкала самодиагностики тревожности, оценка склонности к переживаниям и нервозности в условиях неопределенности) и модель Большой пятерки (Big Five). в рамках которой проводится анализ невротизма — черты личности, связанной с эмоциональной нестабильностью. Высокий уровень невротизма свидетельствует о склонности к переживаниям, тревожности и колебаниям настроения.

- Тестирование на тренажерах:

- Создаются сценарии, имитирующие реальные задачи, такие как управление БПЛА в условиях помех или нестабильности.

- Анализируется точность выполнения заданий, скорость принятия решений и адаптация к меняющимся условиям.

Этот этап дает возможность оценить соответствие кандидата требованиям профессии с учетом его психофизиологических и психологических характеристик.

3. Динамический мониторинг

Заключительный этап отбора направлен на подтверждение способности кандидата к стабильной деятельности в реальных условиях (Синельников, 2017).

- Регулярное тестирование когнитивных функций в динамике:

Проводится в течение нескольких рабочих циклов для выявления устойчивости внимания и качества работы.

- Анализ выполнения задач:

Кандидат выполняет серии заданий на симуляторах и в реальных условиях. Оцениваются его навыки управления, способность справляться с новыми задачами и эффективность в экстремальных ситуациях.

- Контроль качества и точности деятельности.

Мониторинг результатов выполняемых заданий по заранее установленным стандартам. Анализируются такие показатели, как количество ошибок, скорость выполнения задач и точность решений.

На основании результатов всех трех этапов принимается итоговое решение:

- Пригоден: кандидат соответствует всем критериям и может быть допущен к обучению.
- Условно пригоден: требуется дополнительная подготовка или проверка.
- Непригоден: кандидат не отвечает требованиям из-за выявленных ограничений.

Этапы профессионального отбора операторов БПЛА образуют логическую и последовательную систему оценки, которая позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, обеспечивая безопасность и эффективность работы операторов.

Подготовка операторов: симуляторы и современные технологии

Подготовка операторов БПЛА является ключевым этапом, обеспечивающим их профессиональную готовность к выполнению сложных задач. Сложность управления БПЛА и высокая ответственность, связанная с их применением, требуют от операторов не только технической компетентности, но и умения действовать в экстремальных условиях, принимать оперативные решения и минимизировать ошибки (Ермаков, 2023).

С развитием технологий обучение операторов становится все более инновационным, в частности, благодаря внедрению тренажеров и виртуальных сред. Эти средства позволяют моделировать реалистичные сценарии, имитируя экстремальные условия, технические сбои или изменение внешней обстановки. Кроме того, современные подходы к подготовке операторов включают использование искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных для индивидуализации обучения и оценки прогресса.

Целью подготовки операторов является формирование у них устойчивых профессиональных навыков, таких как точность управления, стрессоустойчивость, оперативность принятия решений и адаптивность к изменениям (Занковский, Баканов, 2023). Использование тренажеров и новых технологий не только повышает эффективность подготовки, но и позволяет снизить риски и экономические издержки, связанные с ошибками на реальных устройствах.

В данном разделе рассмотрим роль тренажеров в подготовке операторов, требования к современным обучающим системам, а также существующие проблемы и пути их решения.

Современные симуляторы, такие как Liftoff, Wings, Velocidrone и Труп FPV, предоставляют операторам дронов уникальные возможности для тренировки навыков управления в виртуальной среде. Эти инструменты популярны как среди любителей, так и профессионалов, благодаря своей доступности и способности воспроизводить реалистичные условия полета (Ермаков, 2023).

Liftoff — симулятор, ориентированный на обучение управлению гоночными дронами. Он предлагает реалистичную физику полета, широкие возможности настройки дронов и множество готовых карт для тренировки.

Таблица 1

Симулятор Liftoff

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
- Подходит как для начинающих, так и для опытных пользователей благодаря гибкости настроек и уровней сложности - Возможность соревноваться и тренироваться с другими пользователями в режиме онлайн. Многочисленная база локаций: разнообразные локации для тренировки (город, природные зоны,	- ограниченность сценариев: выполнение задач только по скоростному прохождению трасс - требует для корректной работы производительных комплектующих от автоматизированного рабочего места, на котором он установлен - наличие только мультироторного типа БПЛА	Настройка различных моделей БПЛА, чтобы приблизить к реальным характеристикам Конструктор БПЛА, в котором есть режим сборки с нуля Конструктор трасс	Конкуренция со стороны более современных симуляторов может снизить актуальность Liftoff Возможность взломов или кибератак, которые могут нарушить работу симулятора и конфиденциальность данных пользователей при распространении

гоночные трассы).			
-------------------	--	--	--

Liftoff: Micro Drones — симулятор, ориентированный на обучение управлению дронами размеров относящихся к классу 65мм. Программное обеспечение ориентировано на помощь в адаптации управления самыми «маленькими» дронами мультироторного типа. Так как управление дронами малых размеров имеет специфику, что чем меньше объект, которым оператор производит управление, тем сложнее стабилизировать его положение в пространстве.

Таблица 2

Симулятор Liftoff: Micro Drones

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
- Управление БПЛА мультироторного типа малых размеров - Возможность соревноваться и тренироваться с другими пользователями в режиме онлайн.	- ограниченность сценариев: выполнение задач только по скоростному прохождению трасс - Подходит для опытных пользователей, которые уже умеют управлять обычными дронами - наличие только мультироторного типа БПЛА	Настройка различных моделей БПЛА, чтобы приблизить к реальным характеристикам Конструктор БПЛА, в котором есть режим сборки с нуля	Периодичность обновлений и добавление новых моделей БПЛА не слишком частая, за счет чего может наступить устаревание симулятора

Freerider — популярный симулятор среди любителей и профессиональных пилотов гоночных дронов. Его отличает высокая точность физики и возможность настройки траекторий и сложных маневров.

Таблица 3

Симулятор Freerider

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
Настройка аппаратуры любой конфигурации Легкоусваемый функционал Доступные системные требования, благодаря чему программное обеспечение устанавливается на любой персональный компьютер	Нет других моделей БПЛА, кроме одной доступной	Есть вариант программного обеспечения для мобильных устройств	Урезанный функционал симулятора не конкурентоспособный

Тур FPV — новейший симулятор, ориентированный на тренировку пилотов дронов в творческих и соревновательных задачах. Он сочетает гоночные элементы и свободные полеты с возможностями настройки окружающей среды.

Таблица 4

Симулятор Тур FPV

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
Настройка аппаратуры любой конфигурации Множество настроек БПЛА Множество сценариев для полетов Реалистичная графика и динамические сценарии	Системные требования к персональным компьютерам Наличие только мультироторного типа БПЛА	Конструктор БПЛА Участие сразу нескольких человек в одном сценарии Настройка аэродинамики Интеграция с творческими задачами:	Продолжительное время нахождения в статусе бета-тестирования с урезанным функционалом Системные требования не позволяют большинству использовать его для обучения

		поддержка FPV- видеосъемки	
--	--	-------------------------------	--

Квадросим — инновационный симулятор, созданный отечественным разработчиком, который позволяет оператором получить навыки управления беспилотным летательным аппаратом, а также качественно повысить навыки управления и квалификацию операторов БПЛА в безопасной и контролируемой среде.

Таблица 5

Симулятор Квадросим

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
Разнообразие сценариев	Высокая стоимость лицензии	Присутствуют сценарии для военного и гражданского использования	Из-за высокой стоимости может быть не так распространена, как конкуренты
Легкоусваемый функционал	Малое количество локаций для выполнения задач	Конструктор БПЛА	
Подробное описание процессов внутри каждого режима		Конструктор трасс	
Настройка погодных условий для выполнения задач		Конструктор уровней:	
Разнообразие типов БПЛА: мультироторные, гибридные и самолетные		редактирование ландшафта и специализации задач	
Доступные системные требования		VR-поддержка	

Wings Simulator — симулятор полетов на БПЛА самолетного типа. Позволяет испытать аппаратуру управления на моделях БПЛА приближенных к реальным прототипам, также позволяет в режиме конструктора вносить изменения в характеристики.

Таблица 6

Симулятор Wings Simulator

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
Совместимость с большинством операционных систем	Специализация только на самолетном типе БПЛА	Конструктор трасс	Труднодоступность для распространения для установки
Совместимость с большинством пультов управления	Системные требования к персональным компьютерам	Конструктор БПЛА самолетного типа	
Настройка погодных условий для выполнения задач		Возможность соревноваться и тренироваться с другими пользователями в режиме онлайн до 16 человек	
Просторные локации для выполнения задач (более 1600 акров)			

Небо-22 — предназначен для отработки практических навыков пилотирования БПЛА квадрокоптерного типа. Операторы могут отработать в симуляторе разные погодные условия (снег, дождь, туман, легкая видимость, ясная погода, ночь) и ситуации, когда погода меняется во время полета. Отдельные модули посвящены сопровождению штурмовых отрядов и визуальному контролю за работой штурмовой группы с контролем целей свой/чужой.

Симулятор Небо-22

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
<p>Теоретическая часть совмещена с практической частью</p> <p>Внесение ландшафта с спутниковых снимков в карты симулятора для отработки задач</p> <p>Участие одновременно нескольких операторов по выполнению конкретной задачи</p> <p>Несколько режимов выполнение задач: полет в условиях РЭБ, маневрирование в городе, полет со сбросом, корректировка огня, сопровождение целей</p>	<p>Специализация на отработке задач пилотирования только для военных</p> <p>Наличие только мультироторного типа БПЛА</p>	<p>Настройка моделей БПЛА</p> <p>Настройка погодных условий для выполнения задач</p> <p>Просмотр статистики пользователей</p> <p>VR-поддержка</p>	<p>Использование для обучения в противоправных целях</p> <p>Из-за высокой стоимости может быть не так распространена, как конкуренты</p>

Каждый из симуляторов предоставляет уникальные возможности для подготовки операторов дронов: Liftoff и Liftoff: Micro Drones подходят для тренировок в условиях высокой динамики и соревнований, Wings Simulator полезен для подготовки к профессиональным миссиям по самолетному типу БПЛА, Тгур FPV помогает развивать творческие и соревновательные навыки, Квадросим и Небо-22 специализируются на военных задачах и изменениях погодных условий, а Freerider может быть распространен практически на все устройства, к которым доступно подключение оборудования для управления. Выбор симулятора зависит от целей обучения: базовая подготовка, профессиональное применение или развитие спортивных и креативных навыков.

Роль симуляторов в подготовке операторов БПЛА

Симуляторы являются неотъемлемой частью подготовки операторов БПЛА, обеспечивая безопасную, экономичную и эффективную среду для обучения. Их использование позволяет развивать как базовые навыки управления, так и специфические компетенции, необходимые для выполнения профессиональных задач в реальных условиях (Mohsan, Othman, Li, Y., Alsharif., Khan, 2023).

Основные функции тренажеров в подготовке операторов (Смирнов, 2020):

1. Формирование базовых навыков управления. Симуляторы помогают операторам освоить основы управления дроном, включая взлет, посадку, маневрирование и стабилизацию в полете. Это особенно важно для начинающих, которые могут безопасно учиться без риска повредить реальное оборудование.
2. Отработка сложных сценариев. Благодаря виртуальной среде, симуляторы позволяют моделировать сложные и редкие ситуации, которые операторы могут встретить в реальных миссиях, например:
 - потеря связи с дроном;
 - навигация в условиях плохой видимости;
 - выполнение задач в аварийных условиях.
3. Оценка профессиональной пригодности. В процессе работы на тренажерах инструкторы могут оценивать скорость реакции, точность управления, стрессоустойчивость и способность принимать решения в экстремальных условиях.
4. Индивидуализация обучения. Современные симуляторы позволяют адаптировать сценарии под уровень подготовки и специализацию конкретного оператора, создавая индивидуальную программу обучения. Бывают случаи, когда одному типу операторов лучше управлять разведывательным дроном, а второму типу рекомендуется управлять FPV-дроном, который отличается по манерам управления в пользу скорости и маневренности, в то время как разведывательные дроны больше предназначены для людей, способных обрабатывать большой массив информации, поступающий с телеметрии.

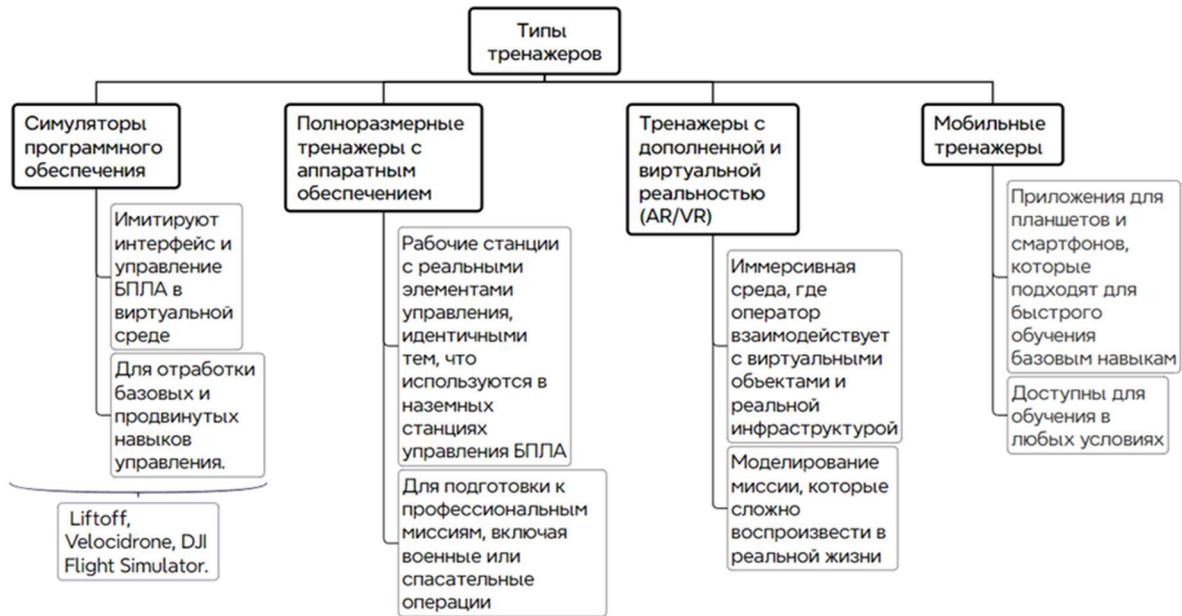


Рис. 1. Типы тренажеров

Необходимо отметить, что с увеличением количества часов, затрачиваемое на использование симулятора во время обучения полетам — количество падений уменьшается. Далее была рассмотрена группа из 20 человек, которая во время обучения на оператора БПЛА мультироторного типа использовала одновременно симулятор Liftoff и дроны модели Mobula 7 1S Elrs. Каждое занятие уделялось время полетов на симуляторах и полеты на реальных дронах по 15 минут (60 минут симуляции и 15 минут полетов в ручном режиме управления зафиксировано в среднем 21 падение БПЛА в течение 15 минут (рис.2).

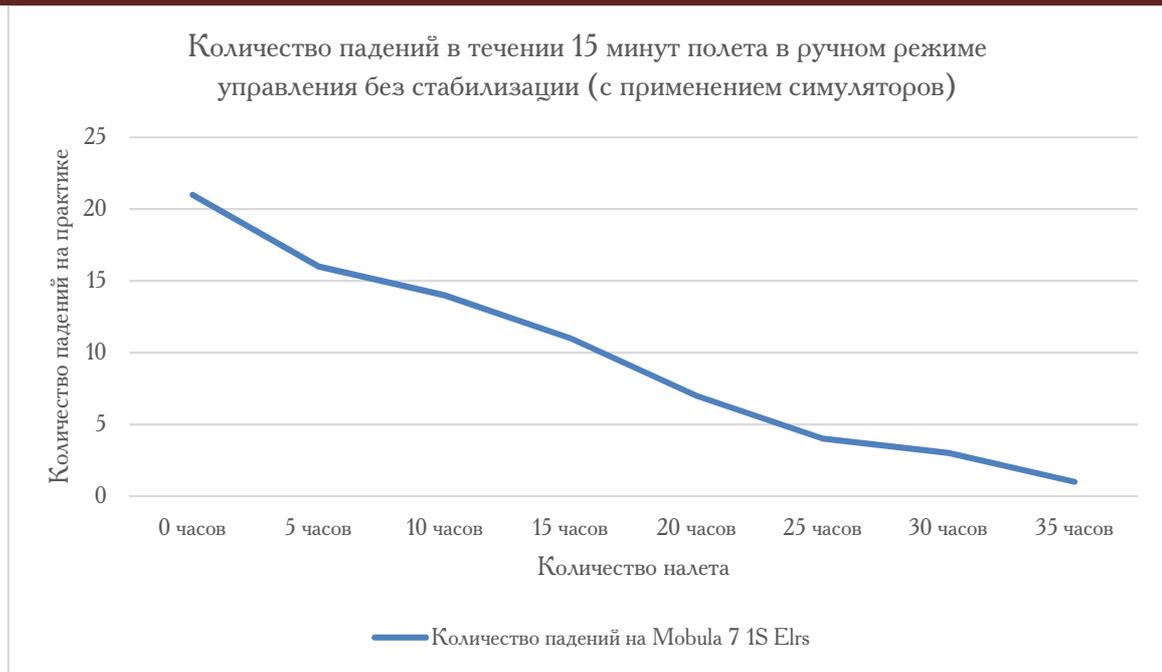


Рис. 2. Статистика падений у курсантов

Стоит отметить, что если не использовать симуляторы в качестве дополняющего средства обучения, то количество падений БПЛА при постоянных полетах будет также снижаться при постоянном налете, но значительно меньше, а поломки при столкновениях с препятствиями становятся значительнее, что в свою очередь влияет на затраты, необходимые на восстановление летательных моделей. В рисунке 3 отражено обучение группы людей из 10 человек, которая не использовала симуляторы, но постоянно практиковала налет на реальном дроне по 15-30 минут в течении месяца.

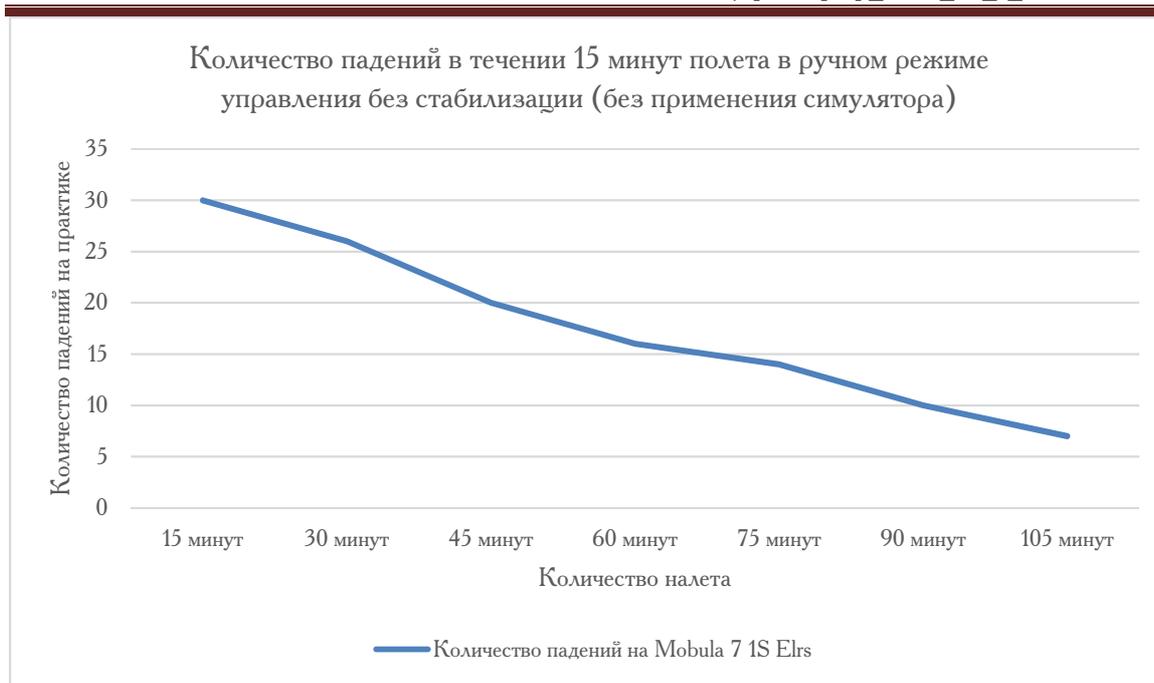


Рис. 3. Статистика падений у курсантов

Согласно описанию структуре летных способностей, различные сочетания в человеке, как в потенциальном операторе, формируют направленность его дальнейшей деятельности, в рамках которой его выполнение задач будет максимально эффективным (Платонов, Гольдштейн, 1984). На рисунке 4 описаны 4 типа операторов, у которых важны те или иные качества, а также симуляторы, которые сформируют базовую подготовку к выполнению задач.

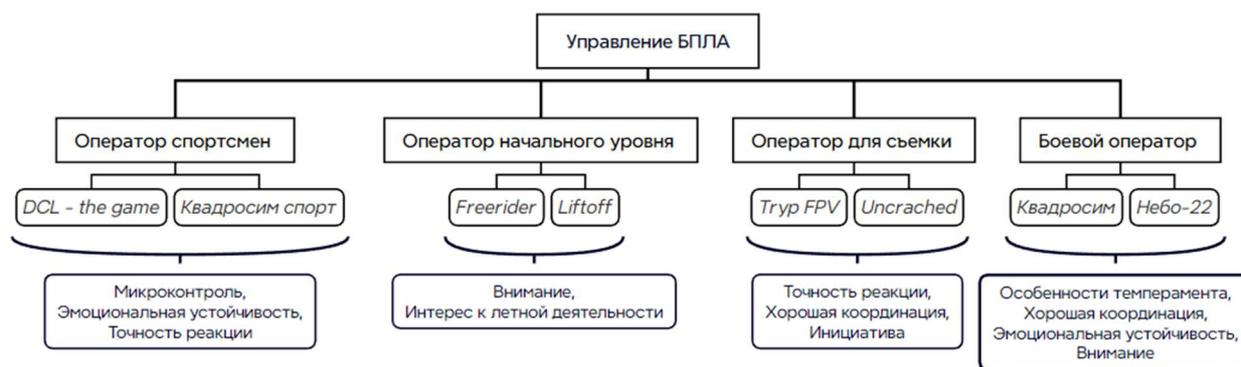


Рис. 4. Типы операторов с описанием личностных качеств

В рамках подготовки потенциальных операторов БПЛА также рекомендуется применять оценку каждого курсанта согласно анкете опроса профессионально важных качеств. (Кондратенко, 2015) Далее в таблице 8 описан бланк анкеты. Оценка производилась по шкале, где:

- 1 – навык отсутствует;
- 0 – навык развивается;
- 1 – навык на базовом уровне;
- 2 – навык выше среднего уровня;
- 3 – навык на высоком уровне.

Таблица 8

Анкета

№	Вопросы	-1	0	1	2	3
1	Оцените точность реакции курсанта при выполнении задания.					
2	Оцените эмоциональную устойчивость курсанта при работе в стрессовых условиях.					
3	Оцените способность курсанта к микроконтролю движений и точности.					
4	Оцените внимательность курсанта к деталям во время выполнения задания.					
5	Оцените способность курсанта проявлять инициативу в нестандартных ситуациях.					
6	Оцените интерес курсанта к летной деятельности и его вовлеченность.					
7	Оцените координацию курсанта при выполнении полетных маневров.					
8	Оцените способность курсанта сохранять спокойствие и фокус на задаче в критических ситуациях.					
9	Оцените способность курсанта адаптироваться к новым сценариям или задачам.					
10	Оцените особенности темперамента курсанта в соответствии с требованиями для выполнения задач.					
11	Оцените способность курсанта анализировать миссию и планировать задачи.					
12	Оцените уровень понимания курсантом принципов работы БПЛА.					
13	Оцените знание курсантом основ аэродинамики и управления полетом.					
14	Оцените навыки курсанта в работе с программным обеспечением и телеметрией.					
15	Оцените способность курсанта работать с датчиками и полезной нагрузкой БПЛА.					
16	Оцените навыки курсанта в навигации и работе с системами координат.					
17	Оцените знание курсантом правил безопасности и законодательства.					
18	Оцените техническую грамотность курсанта в диагностике и обслуживании БПЛА.					

19	Оцените способность курсанта сохранять знания и навыки после перерыва.				
20	Оцените способность курсанта адекватно реагировать на неожиданные ситуации.				
21	Оцените способность курсанта взаимодействовать с другими членами команды.				
22	Оцените мотивацию курсанта к самостоятельному совершенствованию своих навыков.				
23	Оцените способность курсанта принимать быстрые решения в условиях неопределенности.				
24	Оцените способность курсанта сохранять устойчивую производительность в условиях физической и эмоциональной нагрузки.				
25	Оцените способность курсанта сохранять концентрацию в течение длительного времени.				
26	Оцените знание курсантом метеорологических факторов и их влияния на полет.				
27	Оцените способность курсанта грамотно распределять внимание между задачами.				
28	Оцените способность курсанта выявлять и устранять неполадки в работе оборудования.				
29	Оцените способность курсанта соблюдать этику и конфиденциальность в работе.				
30	Оцените креативность курсанта при поиске решений нестандартных задач.				
31	Оцените способность курсанта работать с видеонагрузкой и анализировать видеоданные.				
32	Оцените способность курсанта интегрировать полученные данные в систему принятия решений.				
33	Оцените знание курсантом основ эргономики рабочего места оператора.				
34	Оцените способность курсанта к быстрой обучаемости новым технологиям.				
35	Оцените умение курсанта управлять группой дронов одновременно.				
36	Оцените способность курсанта учитывать влияние окружающей среды на выполнение задания.				
37	Оцените способность курсанта следовать сложным инструкциям без ошибок.				
38	Оцените способность курсанта работать с геоинформационными системами.				
39	Оцените способность курсанта эффективно распределять ресурсы для выполнения миссии.				
40	Оцените способность курсанта действовать эффективно в условиях длительной нагрузки.				

Каждому вопросу из анкеты заранее присваивается связь с конкретным навыком, относящимся к определенному типу оператора. Для удобства расчетов можно выделить группы вопросов, относящиеся к каждому типу оператора, и вычислить итоговый балл по каждой группе.

Подсчет баллов производится для каждого курсанта:

- Оцените ответы на вопросы в шкале от -1 до 3;
- Сложите баллы для всех вопросов, относящихся к каждому типу оператора;
- Рассчитайте средний балл по группе вопросов для каждого типа оператора.

Пример расчета:

- Оператор-спортсмен: вопросы: 4, 6, 7, 9, 10, 12, 23, 24, 26, 29;
- Если суммарный балл за эти вопросы составляет, например, 18, а всего вопросов 10, то средний балл = $22 / 10 = 2,2$.

Таким образом, если средний балл для какой-либо группы вопросов выше порогового значения (например, 2,0), это может свидетельствовать о предрасположенности курсанта к соответствующему типу оператора.

Можно установить следующие уровни:

- 2,5–3,0: высокий уровень подготовки и склонность к конкретному типу оператора;
- 1,5–2,4: базовый уровень, требующий доработки;
- 0–1,4: недостаточная подготовка для данного типа оператора.

На основе полученных средних баллов для каждого типа — наиболее высокий балл относится к определенной группе (например, оператор-спортсмен), это свидетельствует о его предрасположенности к этому направлению, а если показатели равномерны между двумя типами (например, оператор-спортсмен и боевой оператор), можно указать на универсальность курсанта.

Пример:

Курсанту даны оценки, и его результаты таковы:

- Оператор-спортсмен: 2,8;
- Оператор начального уровня: 1,5;
- Оператор для съемки: 2,2;
- Боевой оператор: 2,6.

В таком случае можно сделать вывод, что курсант лучше всего подходит для роли оператора-спортсмена, но также имеет навыки, применимые для боевого оператора.

Вопросы из бланка анкеты соответствуют следующим типам операторов: оператор-спортсмен (4, 6, 7, 9, 10, 12, 23, 24, 26, 29), оператор начального уровня (1, 2, 3, 8, 15, 18, 20, 27, 32, 36), оператор для съемки: (5, 9, 13, 14, 16, 19, 21, 28, 31, 34), боевой оператор (2, 6, 7, 10, 11, 17, 22, 25, 30, 38).

Математические модели в профессиональном отборе операторов БПЛА

Современные подходы к профессиональному отбору операторов БПЛА опираются на математические модели, которые позволяют объективно анализировать результаты тестирования и минимизировать субъективные ошибки. Эти модели базируются на вероятностных, статистических и корреляционных методах, обеспечивая системный подход к обработке данных (Рытов, 2020).

Методы анализа пригодности:

1. Последовательное статистическое отношение вероятностей

Метод позволяет оценить соответствие кандидата требованиям профессии на основе анализа тестовых результатов. Формула диагностического коэффициента:

$$D_i = \ln \left(\frac{P_A(q_i)}{P_B(q_i)} \right) \quad (3)$$

D_i — диагностический коэффициент

$P_{A(q_i)}$ и $P_{B(q_i)}$ — вероятности появления признака q_i , в группах пригодных и непригодных кандидатов соответственно. Если сумма коэффициентов превышает заданное пороговое значение, кандидат считается пригодным.

2. Теория распознавания образов

Используется для формирования профиля пригодности кандидата, сравниваемого с эталонным. Формула логарифма отношения правдоподобия:

$$L(q_1, q_2, \dots, q_n) = \ln \left(\frac{P_A(q_1, q_2, \dots, q_n)}{P_B(q_1, q_2, \dots, q_n)} \right) \quad (4)$$

Если результат превышает пороговое значение, кандидат считается пригодным.

3. Корреляционный и регрессионный анализ

Это помогает выявить зависимости между результатами тестов и успешностью выполнения задач. Формула:

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad (5)$$

Y — уровень профессиональной пригодности

X_1, X_2, \dots, X_n — результаты тестов, a_1, a_2, \dots, a_n — весовые коэффициенты, ε — ошибка модели.

4. Оценка качества деятельности в реальных условиях

Используется временная, точностная и вероятностная оценка. Пример:

$$P = \Phi \left(\frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{норма}}}{\sigma} \right) \quad (6)$$

P — вероятность успешного выполнения задачи,

$T_{\text{ср}}$ — среднее время выполнения задачи,

$T_{\text{норма}}$ — нормативное время,

σ — стандартное отклонение.

Формулы для оценки пригодности операторов БПЛА:

1. Оценка времени подготовки

Если необходимо определить время, требуемое кандидату для достижения заданного уровня:

$$t_{\text{подг}} = t_0 \ln \left(\frac{Q_{\text{пр}} - Q}{Q_{\text{пр}} - Q_0} \right) \quad (7)$$

$t_{\text{подг}}$ — время подготовки,

t_0 — базовое время адаптации,

$Q_{\text{пр}}$ — предельное качество выполнения задачи,

Q, Q_0 — фактическое и начальное качество выполнения.

2. Точность выполнения заданий

Для определения вероятности успешного выполнения задачи:

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{\Delta - \Delta_{\text{доп}}}{\sigma}\right) \quad (8)$$

Δ — среднее отклонение результата,

$\Delta_{\text{доп}}$ — допустимое отклонение,

σ — стандартное отклонение.

3. Оценка устойчивости

Уровень устойчивости кандидата определяется как снижение производительности в условиях нагрузки:

$$S = \frac{P_{\text{норма}} - P_{\text{нагрузка}}}{P_{\text{норма}}} \quad (9)$$

- 1) Если вероятность выполнения задачи (P) превышает 80%, кандидат считается пригодным.
- 2) Если время подготовки ($t_{\text{подг}}$) превышает допустимый порог, это свидетельствует о низкой способности к адаптации.
- 3) Если устойчивость (S) ниже 20%, кандидат демонстрирует высокую адаптивность к стрессовым условиям.

Использование математических моделей обеспечивает объективность и точность профессионального отбора, позволяя принимать взвешенные решения о пригодности операторов БПЛА.

Оценка эффективности отбора и обучения

Эффективность отбора и обучения операторов БПЛА является ключевым фактором, определяющим успешность выполнения профессиональных задач. Разработка методов объективной оценки качества подготовки операторов позволяет не только минимизировать влияние человеческого фактора, но и оптимизировать затраты на обучение, обеспечивая высокую точность и надежность в работе.

Современные подходы к оценке эффективности обучения основываются на использовании четко определенных метрик, таких как точность, надежность и достоверность прогноза профессиональной пригодности. Эти показатели позволяют прогнозировать уровень компетенции оператора еще на этапе отбора, а также выявлять возможные пробелы в подготовке (Кривко-Красько, 2017).

Особое внимание уделяется рентабельности внедрения тренажеров и других технологий в процесс обучения. Анализ экономической и практической эффективности позволяет оценить, насколько использование симуляторов и тренажеров оправдано по сравнению с традиционными методами подготовки (Солодков, 2013). Кроме того, важным этапом является сравнение прогнозируемых результатов подготовки с реальной оценкой деятельности операторов в полевых условиях. Это дает возможность оценить точность прогнозных моделей и вносить корректировки в учебные программы.

В данном разделе будут рассмотрены ключевые метрики оценки, а также примеры их применения в различных отраслях, использующих БПЛА. Эти данные помогут сформировать системный подход к оценке и совершенствованию процессов отбора и подготовки операторов.

На рисунке 5 показаны метрики оценки эффективности отбора и обучения операторов БПЛА.

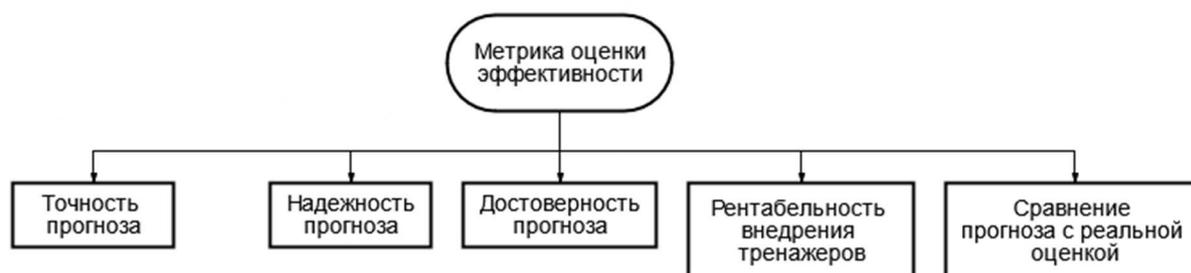


Рис. 5. Метрики эффективности

Точность прогнозирования пригодности кандидата определяется как процент правильно классифицированных операторов (пригодных и непригодных) по итогам тестирования и обучения (Пулатова, 2012).

$$\text{Точность} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\% \quad (10)$$

TP (True Positive): количество пригодных операторов, правильно классифицированных как пригодные.

TN (True Negative): количество непригодных операторов, правильно классифицированных как непригодные.

FP (False Positive): количество непригодных операторов, ошибочно классифицированных как пригодные.

FN (False Negative): количество пригодных операторов, ошибочно классифицированных как непригодные.

Если из 100 кандидатов 70 классифицированы верно (40 TP и 30 TN), а 30 классифицированы неверно (15 FP и 15 FN), точность составит:

$$\text{Точность} = \frac{70}{100} \times 100\% = 70\% \quad (11)$$

Надежность прогноза.

Чтобы учесть влияние различных факторов на надежность прогноза, можно включить в расчет весовые коэффициенты для каждого показателя, а также учитывать различия между прогнозируемыми и реальными результатами.

$$\text{Надежность} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times C_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100\% \quad (12)$$

n — количество проведенных тестов или попыток.

w_i — весовой коэффициент для каждого теста или сценария (например, более сложным сценариям присваиваются более высокие веса).

C_i — совпадение прогноза и фактического результата для теста (1, если прогноз соответствует факту и 0, если не соответствует факту).

Пример:

Проведено 5 тестов, из которых 3 совпадают с прогнозом. Весовые коэффициенты (w_i) для каждого теста: $w_1 = 1.0$, $w_2 = 1.5$, $w_3 = 1.0$, $w_4 = 2.0$, $w_5 = 1.5$.

1-й этап.

Определяем совпадения (C_i)

Тест 1: $C_1 = 1$ (совпадает);

Тест 2: $C_2 = 1$ (совпадает);

Тест 3: $C_3 = 0$ (не совпадает);

Тест 4: $C_4 = 1$ (совпадает);

Тест 5: $C_5 = 0$ (не совпадает).

2-й этап.

Вычисляем суммарные значения для числителя и знаменателя:

$$\text{Сумма } w_i \times C_i = (1.0 \times 1) + (1.5 \times 1) + (1.0 \times 0) + (2.0 \times 1) + (1.5 \times 0) = 1.0 + 1.5 + 0 + 2.0 + 0 = 4.5.$$

$$\text{Сумма весов } \sum w_i = 1.0 + 1.5 + 1.0 + 2.0 + 1.5 = 7.0.$$

3-й этап.

$$\text{Надежность} = \frac{4.5}{7.0} \times 100\% = 64,29\% \quad (13)$$

Достоверность прогноза.

Достоверность показывает, насколько результаты прогноза коррелируют с реальными показателями эффективности оператора в полевых условиях.

$$\text{Достоверность} = R^2 \quad (14)$$

R^2 – коэффициент детерминации, измеряющий силу связи между прогнозируемыми и реальными показателями.

Сравнение прогноза с реальной оценкой.

Эта метрика анализирует степень расхождения между прогнозируемой и фактической эффективностью оператора в реальных задачах.

$$X_{\text{погр}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (15)$$

$X_{\text{погр}}$ – человеческая погрешность

\hat{y}_i – прогнозируемое значение

y_i – реальное значение,

N — количество наблюдений.

Пример:

Если прогнозируемая эффективность составляет 90%, 85% и 80%, а реальные показатели — 88%, 87% и 75%:

$$X_{\text{погр}} = \frac{1}{3} [(90 - 88)^2 + (85 - 87)^2 + (80 - 75)^2] = \frac{1}{3} (4 + 4 + 25) = 11 \text{ (17)}$$

В результате чего следует вывод — чем меньше значение $X_{\text{погр}}$, тем точнее прогноз.

Каждая из представленных метрик — точность, надежность, достоверность, рентабельность и среднеквадратическая ошибка — обеспечивает комплексный подход к оценке эффективности отбора и обучения операторов БПЛА. Эти показатели можно адаптировать к конкретным требованиям отрасли и учебным задачам, повышая объективность и обоснованность решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подготовка операторов БПЛА представляет собой сложный процесс, который включает в себя отбор кандидатов, обучение и последующую оценку их профессиональной пригодности. Успех выполнения задач оператором БПЛА зависит от сочетания его технических навыков, когнитивных способностей, устойчивости к стрессу и способности адаптироваться к меняющимся условиям.

В таблице 9 предложены направления развития методик обучения операторов.

Таблица 9

Направления развития методик обучения операторов

Направление	Рекомендации	Преимущества
Персонализированный отбор	Использовать адаптивные тесты для динамической оценки способностей.	- Учет индивидуальных особенностей кандидатов. - Повышение точности отбора.
	Внедрить профили кандидатов с учетом психофизиологических	- Выявление оптимальных задач для каждого оператора.

	данных.	
Современные технологии	Внедрить AR/VR для имитации сложных и аварийных ситуаций.	- Реалистичное моделирование. - Повышение подготовки к стрессовым условиям.
	Использовать системы анализа больших данных для персонализации обучения.	- Повышение эффективности программ. - Автоматическая адаптация учебных сценариев.
	Применять ИИ для прогнозирования успеха обучения.	- Ранняя идентификация слабых сторон кандидатов.
Стандартизация обучения	Разработать единые требования к симуляторам (реалистичность, функциональность).	- Унификация подходов к обучению. - Снижение разрывов в подготовке операторов.
	Закрепить обязательное использование стандартизированных учебных программ.	- Гарантия соответствия образовательных процессов отраслевым требованиям.
Непрерывное обучение	Организовать регулярные тренинги и проверки навыков операторов.	- Постоянное повышение квалификации. - Устранение профессионального выгорания.
	Внедрить сертификацию для периодической проверки компетенций.	- Обеспечение высокого уровня квалификации операторов на всех этапах карьеры.

Современные вызовы в области эксплуатации беспилотных летательных аппаратов требуют от операторов не только технической подготовки, но и способности принимать оперативные решения в нестандартных условиях, быть устойчивыми к стрессу и работать с высокотехнологичным оборудованием. Эффективный процесс подготовки операторов невозможен без комплексного подхода, который включает тщательный отбор кандидатов, систематическое обучение и постоянное развитие их навыков.

Одним из ключевых аспектов успешной подготовки является сочетание теоретических знаний, отработки практических навыков на тренажерах и применения этих навыков в реальных условиях. Это позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, повышая надежность работы операторов в критических ситуациях (Иванова, 2014). Интеграция современных технологий, таких как виртуальная и дополненная реальность, симуляторы с адаптивными сценариями и системы анализа больших данных, делает обучение более точным, безопасным и экономически эффективным. Использование этих инструментов позволяет создавать индивидуальные траектории обучения, которые адаптируются под уровень и потребности каждого оператора (Бартош, Белого, Кузиковский, Лаврентьев, 2017).

Для обеспечения высокого качества подготовки и исключения недочетов необходимо внедрение поэтапного подхода, в котором каждый этап логически вытекает из предыдущего, формируя устойчивую профессиональную готовность операторов. Применение такого подхода позволяет добиться максимальной эффективности подготовки и адаптации операторов БПЛА к выполнению задач любой сложности.

Предлагаемые этапы подготовки, изложенные ниже, являются структурированным решением, которое сочетает передовые методы и технологии, обеспечивая высокий уровень профессионализма операторов.

Первый этап — отбор кандидатов. На этом этапе проводится медицинская проверка, выявляющая физические ограничения, такие как зрение и рефлексы, которые могут влиять на управление беспилотником. Также кандидаты проходят психологические тесты, проверяющие скорость реакции, способность работать в стрессовых ситуациях, уровень мотивации, склонность к обучению и эмоциональную стабильность. В результате формируются группы кандидатов, соответствующие их индивидуальным требованиям.

Второй этап — базовая теоретическая подготовка. Кандидаты посещают лекции по аэродинамике, изучают технические характеристики беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и сферы их применения. Этот этап завершается формированием у кандидатов

теоретической базы, необходимой для перехода к практической подготовке на тренажерах.

Третий этап — базовая тренажерная подготовка. Используя начальные симуляторы, такие как Liftoff, TGUP FVR, Velocidrome и Wings, кандидаты выполняют задания по взлету, посадке, удержанию позиции и простому маневрированию. Это позволяет развить базовые навыки управления беспилотниками и подготовить кандидатов к выполнению более сложных задач.

Четвертый этап 4 — продвинутая тренажерная подготовка. На этом этапе используются VR/AR-тренажеры или симуляторы с динамическими сценариями. Кандидаты выполняют задачи в сложных погодных условиях, управляют беспилотниками при отказах систем, ищут и идентифицируют объекты. Особое внимание уделяется развитию многозадачности, когда необходимо одновременно управлять дроном и взаимодействовать с командой. Результатом является формирование устойчивости к стрессу и готовности к нестандартным ситуациям.

Пятый этап — практическая подготовка. Под наблюдением инструкторов кандидаты выполняют реальные полеты на специально оборудованных полигонах. Они решают практические задачи, такие как мониторинг территорий, воздушные съемки и посадка беспилотников. Этот этап позволяет закрепить полученные ранее знания и навыки в реальных условиях.

Шестой этап — итоговая аттестация. На данном этапе проводятся два экзамена: теоретический и практический. На теоретическом экзамене проверяются знания законодательства и устройства БПЛА, а на практическом — умение выполнять задания как на симуляторах, так и в реальных условиях.

Седьмой этап — непрерывное обучение. После завершения основной программы обучения кандидаты продолжают совершенствоваться, регулярно тренируясь на промышленных симуляторах. Они также проходят курсы повышения квалификации, осваивая новые технологии и методики работы с беспилотниками. Участие в

соревнованиях, таких как FPV-гонки или выполнение специальных сценариев, помогает поддерживать высокий уровень подготовки и постоянно обновлять свои знания и навыки.

Такой подход обеспечивает комплексный процесс обучения операторов беспилотных летательных аппаратов, начиная от отбора кандидатов до непрерывного профессионального развития. Для эффективного управления беспилотными летательными аппаратами оператор должен обладать обширным набором знаний и умений, объединяющих как теоретическую подготовку, так и практические навыки. Компетенции оператора БПЛА можно условно разделить на несколько ключевых направлений, охватывающих техническую, аналитическую, навигационную и практическую области (Mingqiu Ren, Yiheng, Bingqie Wang, 2023).

Подводя итог, стоит выделить следующее, что важнейшими элементами подготовки и отбора операторов БПЛА являются:

— необходимость разработки и апробация научно обоснованной системы отбора операторов БПЛА по тестовым методикам (унифицированный комплект тестов должен отвечать требованиям надежности и валидности) и отбору на рабочих местах с использованием тренажеров и симуляторов;

— анкетный опрос будущих операторов БПЛА и составлена программа разработки унифицированного комплекта тестов и отбора на рабочих местах для определения уровней профессиональной пригодности операторов БПЛА;

— предварительный опыт применения симуляторов на рабочих местах позволил выработать выводы по успешному методу обучения операторов БПЛА на рабочих местах, что способствует в дальнейшем высокоэффективному управлению БПЛА;

— существует зависимость между успешностью тренажерной и летной подготовки
— обучение операторов БПЛА должно быть комбинированным;

— значимыми для успешности тренажерной подготовки являются не только отдельные индивидуально-психологические особенности операторов БПЛА, но и их совокупности, формирующиеся на основе механизмов дополнения к компенсации;

Успешное обучение предполагает необходимость выработки профессиональных компетенций, которые, по нашему мнению, заключаются в следующем:

- знание конструкции и принципов работы БПЛА – понимание особенностей технического устройства аппарата и его систем;
- основы аэродинамики и управление полетом – навыки, позволяющие эффективно контролировать летательный аппарат в различных условиях;
- навигация и работа с системами координат – способность ориентироваться в пространстве с использованием навигационных систем;
- знание правил безопасности и законодательства – соблюдение норм и стандартов при выполнении миссий;
- управление дроном и практические навыки – отработка техники пилотирования и решение задач в реальных условиях;
- этика и конфиденциальность – профессиональное соблюдение принципов работы с информацией;
- анализ миссий и планирование задач – подготовка и адаптация действий для выполнения конкретных целей;
- метеорология – оценка погодных условий для обеспечения безопасных полетов;
- техническое обслуживание и диагностика – поддержание работоспособности БПЛА и своевременное выявление неисправностей;
- работа с программным обеспечением и телеметрией – обработка и интерпретация данных, поступающих от БПЛА;
- работа с датчиками и полезной нагрузкой – эксплуатация и управление дополнительными системами, такими как камеры, сенсоры или грузовые модули.

ЛИТЕРАТУРА

Бартош В.С., Белого И.В., Кузиковский С.А., Лаврентьев М.М. Информационное пространство оператора в тренажерных и обучающих системах // Вестник кибернетики, 2017. Т.1. № 25. С.136-148.

Беспалов Б.И. Профессионально важные компоненты деятельности человека и подходы к их психодиагностике // Организационная психология. 2014. Т. 4, № 4. С. 12-50.

Бодров В.А., Малкин В.Б., Покровский Б.Л., Шпаченко Д.И. Проблемы космической биологии. Т. 48 изд. Москва: Наука, 1984. 264 с.

Величковский Б.Б. Инженерно-психологические проблемы проектирования интерфейсов управления беспилотными летательными аппаратами // Национальный психологический журнал. 2020. Т. 1, № 1(37). С. 31-39. DOI 10.11621/prj.2020.0103

Горяшко А.П. Введение в теорию принятия решений : конспект лекций для студентов, обучающихся по специальностям: 080500.62 - Бакалавр менеджмента ; 080500.68 - Магистр менеджмента. Москва : Московский гос. ун-т печати, 2009. 20 с.

Ермаков К.С. Исследование современных подходов к обучению и разработке квалификационных требований к пилоту/оператору беспилотной авиационной системы в соответствии со стандартами ИКАО // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. Т. 26. № 1. С. 34-48. DOI 10.26467/2079-0619-2023-26-1-34-48

Занковский А.Н., Баканов А.С. Человекоориентированный подход к повышению качества и скорости обучения специалистов управления сложными техническими объектами (на примере БПЛА) // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2023. Т. 8. № 1. С. 180-195. DOI: 10.38098/ipran.opwr_2023_26_1_008

Иванов А.С. Методика проведения психологического тестирования кандидатов к обучению по управлению беспилотными летательными аппаратами / А. С. Иванов, Д. Н. Гашев // Теория и практика военного образования в гражданских вузах: педагогический поиск : Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой году педагога и наставника. В 2-х частях, Екатеринбург, 16–17 ноября 2023 года. Екатеринбург: ООО "Издательство УМЦ УПИ", 2023. С. 140-143.

Иванова И.А. Способы организации управления беспилотными летательными аппаратами / И. А. Иванова, В. В. Никонов, А. А. Царева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 11-1. С. 56-63.

Караяни А.Г. Психологические и психофизиологические особенности деятельности операторов боевых беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Караяни, А. Ф. Караваяев // Психопедагогика в правоохранительных органах. 2021. Т. 26. № 1(84). С. 6-15. DOI 10.24412/1999-6241-2021-184-6-15

Кокина Т.В., Кунцевич А.И., Дьяков Д.А., Фурманов И.А. Медико-психологические аспекты формирования образа полета у оператора беспилотного летательного аппарата // Журнал Белорусского государственного университета. Философия. Психология. 2024. №1. С. 84–90.

Кондратенко С.В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человеко-машинных комплексов / С. В. Кондратенко, В. В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. 2015. № 1(45). С. 87-94.

Кривко-Красько А.В. Автоматизация процесса подбора персонала / А. В. Кривко-Красько // Инновационные процессы и корпоративное управление : материалы IX Международной заочной научно-практической конференции, Минск, 15–31 марта 2017 года. Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2017. С. 127-129.

Платонов К.К., Гольдштейн Б.М. Основы авиационной психологии. Учебное пособие для среднеспециальных учебных заведений. М. Транспорт. 1987 г. 222 с.

Пулатова М.М. Психология инженерного труда // Вестник Таджикского технического университета. 2012. № 2(18). С. 144-148.

Рытов М.Ю. Теоретико-прикладные вопросы отбора и подготовки операторов человеко-машинных комплексов в Отечественной эргономике / М. Ю. Рытов, В. В. Спасенников // Эргодизайн. 2020. № 4(10). С. 203-223. DOI 10.30987/2658-4026-2020-4-203-223

Сергеев С.Ф. Восприятие оператором групп динамических объектов / С. Ф. Сергеев, А. В. Хомяков // Оптический журнал. 2021. Т. 88, № 6. С. 68-75. DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-06-68-75

Синельников С.Н. Профессиональное здоровье операторов беспилотных летательных аппаратов / С. Н. Синельников, И. В. Шигаев // Медицинские аспекты безопасности полетов: Материалы Всеармейской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 декабря 2016 года / Под редакцией А.Н. Бельских. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова, 2017. С. 169-170.

Смирнов А.В. Поддержка принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта: современное состояние и концептуальная модель / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова, А. В. Пономарев // Информационно-управляющие системы. 2020. № 2(105). С. 60-70. DOI 10.31799/1684-8853-2020-2-60-70

Солодков Д.С. Системы управления беспилотными летательными аппаратами // Инженерные системы 2013: Труды Студенческой секции Международной

конференции, посвященной 100-летию юбилею первого ректора РУДН профессора С.В. Румянцева, Москва, 25 апреля 2013 года. Москва: Российский университет дружбы народов, 2013. С. 43-46.

AL-Syouf R.A., Bani-Hani R.M., AL-Jarrah O.Y. Machine learning approaches to intrusion detection in unmanned aerial vehicles (UAVs) // *Neural Computing and Applications*. 2024. V. 36, № 16. pp. 18009–18041. DOI: 10.1007/s00521-024-10306-y

Atashyan A., Lazyan A., Hayrapetya, D., Astsatryan H., Poghosyan V., Poghosyan S., Shoukourian Y. Mission preparation for self-organizing UAV swarms on multiuser platform // *Programming and Computer Software*. 2024. V. 50. S1. pp. S39–S46. DOI: 10.1134/S0361768824700397

Liao X., Guo, X., Rozi A., Yu H., Haji A. End-to-end polysemantic cooperative mixed task trainer for UAV target detection // *Scientific Reports*. 2024. V. 14, № 1. pp. 29775. DOI: 10.1038/s41598-024-81201-8

Mingqiu Ren, Yiheng T., Bingqie Wang Research on the Training Strategy of UAV Application Professionals // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023. pp. 3739-3744. DOI: 10.1007/978-981-19-6613-2_363

Mohsan S.A.H., Othman N.Q.H., Li, Y., Alsharif M.H., Khan M.A. Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends // *Intelligent Service Robotics*. 2023. V. 16, № 1. pp. 109–137. DOI: 10.1007/s11370-022-00452-4

Xu L., Zhang X., Xiao D., Liu B., Liu A. Research on heterogeneous multi-UAV collaborative decision-making method based on improved PPO // *Applied Intelligence*. 2024. V. 54, № 9. pp. 9892–9905. DOI: 10.1007/s10489-024-05674-w

Статья поступила в редакцию: 27.01.2025. Статья опубликована: 30.03.2025.

SYSTEMATIC APPROACH TO SELECTION AND TRAINING OF UAV OPERATORS USING SIMULATORS AND MATHEMATICAL MODELS

© 2025 K.K. Gribachev*, D.G. Galko**

* *Student, Bryansk State Technical University; Bryansk, Russia*
e-mail: zorgemauh@gmail.com

** *Student, Bryansk State Technical University; Bryansk, Russia*
e-mail: galko.02@yandex.ru

The paper presents a comprehensive approach to the selection and training of unmanned aerial vehicle (UAV) operators, including the stages and criteria of professional selection that take into account the specifics of the profession. The methods of medical, psychophysiological and psychological assessment aimed at identifying the physical and emotional stability of candidates are considered. Mathematical models for analyzing the suitability of operators have been developed using correlation and regression analysis methods, as well as pattern recognition theory. Modern simulators (software that imitates the physical features of control), such as Liftoff, Liftoff: Micro Drones, Freerider, Tryp FPV, Wings Simulator, Quadrosim, Nebo-22, their role in training operators, their advantages and disadvantages are described. An analysis of the effectiveness of using simulators at various stages of training, including basic and advanced training, is carried out. Suitability prediction formulas are adapted to the specific working conditions of operators. The work includes recommendations for improving selection and training methods, as well as proposals for the development of simulation technologies for UAV operators. Attention is also paid to the integration of VR/AR technologies to increase the level of immersion in the educational process. Statistical data on the results of using simulators in training together with practical flights, as well as the results of the absence of a simulator in training are provided. A questionnaire is proposed to determine the affiliation of UAV operators based on personal qualities. Conclusions are made about the need to integrate modern simulators and analysis methods into the operator training system to improve their

professional stability and readiness to perform complex tasks, about a combined approach to using simulator software for highly effective training of UAV operators.

Key words: unmanned aerial vehicles, professional training, professional selection, simulators, integrated approach, virtual reality (VR), modern technologies.

REFERENCES

- Bartosh, V.S., Belago, I.V., Kuzikovskiy, S.A., & Lavrentyev, M.M. (2017). Informatsionnoe prostranstvo operatora v trenazhernykh i obuchayushchikh sistemakh [Information space of the operator in simulators and training systems]. *Vestnik Kibernetiki [Bulletin of Cybernetics]*, 1(25), 136–148. (In Russian).
- Bespalov, B.I. (2014). Professionalno vazhnye komponenty deyatel'nosti cheloveka i podkhody k ikh psikhodiagnostike [Professionally important components of human activity and approaches to their psychodiagnostics]. *Organizatsionnaya Psikhologiya [Organizational Psychology]*, 4(4), 12–50. (In Russian).
- Bodrov, V.A., Malkin, V.B., Pokrovskii, B.L., & Shpachenko, D.I. (1984). Problemy kosmicheskoi biologii [Problems of space biology] (Vol. 48). Moscow: Nauka Publ. (In Russian).
- Velichkovskiy, B.B. (2020). Inzhenerno-psikhologicheskie problemy proektirovaniya interfeisov upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Engineering and psychological problems of designing control interfaces for unmanned aerial vehicles]. *Natsionalnyi Psikhologicheskii Zhurnal [National Psychological Journal]*, 1(37), 31–39. (In Russian). DOI: 10.11621/npj.2020.0103
- Goryashko, A.P. (2009). *Vvedenie v teoriyu prinyatiya reshenii [Introduction to decision-making theory]*. Moscow: Moskovskii Gosudarstvennyi Universitet Pechati Publ. (In Russian).
- Ermakov, K.S. (2023). Issledovanie sovremennykh podkhodov k obucheniyu i razrabotke kvalifikatsionnykh trebovaniy k pilotu/operatoru bespilotnoi aviatsionnoi sistemy v sootvetstvii so standartami ICAO [Study of modern approaches to training and development of qualification requirements for pilots/operators of unmanned aviation systems in accordance with ICAO standards]. *Nauchnyi Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta Grazhdanskoi Aviatsii [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation]*. 26(1). 34–48. (In Russian). DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-34-48
- Zankovskii, A.N., & Bakanov, A.S. (2023). Chelovekoorientirovannyj podhod k povysheniju kachestva i skorosti obucheniya specialistov upravleniya slozhnymi tehnikami objektami (na primere BPLA) [Human-oriented approach to increasing the quality and

speed of training specialists in control of complex technical objects (by the example of UAV)]. *Institut Psikhologii Rossiyskoy Akademii Nauk. Organizatsionnaya Psikhologiya i Psikhologiya Truda [Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Psychology of Labor]*. 8(1). 180- 195. (in Russian). DOI: 10.38098/ipran.opwp_2023_26_1_008

- Ivanov, A.S., & Gashev, D.N. (2023). Metodika provedeniya psikhologicheskogo testirovaniya kandidatov k obucheniyu po upravleniyu bespilotnymi letatelnyimi apparatami [Methodology for conducting psychological testing of candidates for UAV control training]. Proceedings from Theory and practice of military education in civilian universities: pedagogical search: *VI Vserossiyskaja nauchno-prakticheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhjonnaja godu pedagoga i nastavnika. Ekaterinburg, 16–17 nojabrja 2023 goda [VI All-Russian scientific and practical conference with international participation, the fifth year of teaching and mentoring. Ekaterinburg, November 16–17, 2023]*. Vol. 1-2 (pp. 140–143). Ekaterinburg: Izdatelstvo UMC UPI. (In Russian).
- Ivanova, I.A., Nikonov, V.V., & Tsareva, A.A. (2014). Sposoby organizatsii upravleniya bespilotnymi letatelnyimi apparatami [Methods of organizing control of unmanned aerial vehicles]. *Aktualnye Problemy Gumanitarnykh i Estestvennykh Nauk [Current issues in the humanities and natural sciences]*, 11(1), 56–63. (In Russian).
- Karayani, A.G., & Karavaev, A.F. (2021). Psikhologicheskie i psikhofiziologicheskie osobennosti deyatel'nosti operatorov boevykh bespilotnykh letatelnykh apparatov [Psychological and psychophysiological features of UAV operators]. *Psikhopedagogika v Pravookhranitelnykh Organakh [Psychopedagogy in law enforcement agencies]*. 26(1). 6–15. (In Russian). DOI: 10.24412/1999-6241-2021-184-6-15
- Kokina, T.V., Kuntsevich, A.I., Dyakov, D.A., & Furmanov, I.A. (2024). Mediko-psikhologicheskie aspekty formirovaniya obraza poleta u operatora bespilotnogo letatel'nogo apparata [Medical and psychological aspects of flight image formation in an operator of unmanned aerial vehicles]. *Zhurnal Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Filosofiya. Psikhologiya [Journal of the Belarusian State University. Philosophy. Psychology]*. 1. 84–90. (In Russian).
- Kondratenko, S.V., & Spasennikov, V.V. (2015). Metody analiza i modelirovaniya deyatel'nosti operatorov [Methods for analyzing and modeling operator activities]. *Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta [Bulletin of Bryansk State Technical University]*, 1(45), 87–94. (In Russian).
- Krivko-Krasko, A.V. (2017). Avtomatizatsiya protsessa podbora personal [Automation of personnel selection processes]. Proceedings from Innovation processes and corporate governance: *IX Mezhdunarodnaja zaohnaja nauchno-prakticheskaja konferencija, Minsk, 15–31 marta 2017 goda [IX International correspondence scientific and*

- practical conference, Minsk, March 15–31, 2017*]. (pp. 127–129). Minsk: Natsionalnaya Biblioteka Belarusi. (In Russian).
- Platonov, K.K., & Goldshtein, B.M. (1987). *Osnovy aviatsionnoy psikhologii*. [Fundamentals of aviation psychology]. Moscow: Transport Publ. (In Russian).
- Pulatova, M.M. (2012). *Psikhologiya inzhenerenogo truda* [Psychology of engineering work]. *Vestnik Tadzhijskogo Tekhnicheskogo Universiteta* [Bulletin of the Tajik Technical University], 2(18), 144–148. (In Russian).
- Rytov, M.Y., & Spasennikov, V.V. (2020). *Teoretiko-prikladnye voprosy otbora i podgotovki operatorov cheloveko-mashinnykh kompleksov v otechestvennoi ergonomike* [Theoretical and applied issues of selecting and training operators of man-machine systems in Russian ergonomics]. *Jergodizajn* [Ergodesign], 4(10), 203–223. (In Russian). DOI: 10.30987/2658-4026-2020-4-203-223
- Sergeev, S.F., & Khomyakov, A.V. (2021). *Vospriyatie operatorom grupp dinamicheskikh obektov* [Operator's perception of groups of dynamic objects]. *Opticheskii Zhurnal* [Optical journal], 88(6), 68–75. (In Russian). DOI: 10.17586/1023-5086-2021-88-06-68-75
- Sinel'nikov, S.N., & Shigaev, I.V. (2017). *Professionalnoe zdorovye operatorov bespilotnykh letatelnykh apparatov* [Professional health of UAV operators]. Proceedings from Medical aspects of flight safety: *Vsearmejskaja nauchno-prakticheskaja konferencija, Sankt-Peterburg, 21–22 dekabrja 2016 goda* [All-Army Scientific and Practical Conference, Saint Petersburg, December 21–22, 2016]. A.N. Bel'skih (Ed.). (pp. 169–170). St. Petersburg: Voenno-Meditsinskaya Akademiya imeni S.M. Kirova. (In Russian).
- Smirnov, A.V., Levashova, T.V., & Ponomarev, A.V. (2020). *Podderzhka prinyatiya reshenii na osnove cheloveko-mashinnogo kollektivnogo intellekta* [Decision-making support based on human-machine collective intelligence]. *Informatsionno-upravlyayushchie Sistemy* [Information and management systems], 2(105), 60–70. (In Russian). DOI: 10.31799/1684-8853-2020-2-60-70
- Solodkov, D.S. (2013). *Sistemy upravleniya bespilotnymi letatelnyimi apparatami* [Control systems for unmanned aerial vehicles]. Proceedings from Engineering Systems 2013: *Mezhdunarodnaja konferencija, posvjashhennaja 100-letnemu jubileju pervogo rektora RUDN professora S.V. Rumjanceva, Moskva, 25 aprelya 2013 goda* [International conference dedicated to the 100th anniversary of the first rector of RUDN, professor S.V. Rumyantsev, Moscow, April 25, 2013]. (pp. 43–46). Moscow: Rossiiskii Universitet Druzhby Narodov Publ. (In Russian).
- AL-Syouf, R.A., Bani-Hani, R.M., & AL-Jarrah, O.Y. (2024). *Machine learning approaches to intrusion detection in unmanned aerial vehicles (UAVs)*. *Neural*

Computing and Applications, 36(16), 18009–18041. DOI: 10.1007/s00521-024-10306-y

- Atashyan, A., Lazyan, A., Hayrapetyan, D., Atsatryan, H., Poghosyan, V., Poghosyan, S., & Shoukourian, Y. (2024). Mission preparation for self-organizing UAV swarms on multiuser platform. *Programming and Computer Software*, 50(S1), S39–S46. DOI: 10.1134/S0361768824700397
- Liao, X., Guo, X., Rozi, A., Yu, H., & Haji, A. (2024). End-to-end polysemantic cooperative mixed task trainer for UAV target detection. *Scientific Reports*, 14(1), 29775. DOI: 10.1038/s41598-024-81201-8
- Mingqiu, R., Yiheng, T., Bingqie, W. (2023). Research on the Training Strategy of UAV Application Professionals. In: Yan, L., Duan, H., Deng, Y. (eds) *Advances in Guidance, Navigation and Control. ICGNC 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 845. Springer, Singapore*. DOI: 10.1007/978-981-19-6613-2_363
- Mohsan, S.A.H., Othman, N.Q.H., Li, Y., Alsharif, M.H., & Khan, M.A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics*, 16(1), 109–137. DOI: 10.1007/s11370-022-00452-4
- Xu, L., Zhang, X., Xiao, D., Liu, B., & Liu, A. (2024). Research on heterogeneous multi-UAV collaborative decision-making method based on improved PPO. *Applied Intelligence*, 54(9), 9892–9905. DOI: 10.1007/s10489-024-05674-w

The article was received: 27.01.2025. Published online: 30.03.2025

Библиографическая ссылка на статью:

Грибачев К.К., Галко Д.Г. Системный подход к отбору и обучению операторов БПЛА с использованием симуляторов и математических моделей // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда, 2025. Т. 10. № 1. С. 131–172. DOI: 10.38098/ipran.opwp_2025_34_1_006

Gribachev, K.K., Galko, D.G. (2025). Sistemnyj podhod k otboru i obucheniju operatorov BPLA s ispol'zovaniem simuljatorov i matematicheskikh modelej [A systematic approach to the selection and training of UAV operators using simulators and mathematical models]. Institut Psikhologii Rossiyskoy Akademii Nauk. Organizatsionnaya Psikhologiya i Psikhologiya truda [Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Psychology of Labor]. 10(1). 131–172. DOI: 10.38098/ipran.opwp_2025_34_1_006

Адрес статьи: http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document_1093.pdf