

# Инженерно-психологические проблемы проектирования интерфейсов управления беспилотными летательными аппаратами

**Б.Б. Величковский**

МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Поступила 6 февраля 2020/ Принята к публикации: 15 февраля 2020

## Engineering-psychological problems of unmanned aerial vehicles interface design

**Boris B. Velichkovskiy**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received February 6, 2019 / Accepted for publication: February 15, 2020

**Актуальность.** Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко используются сегодня в различных областях деятельности. Их применение сталкивается со значительными проблемами в области эргономики и человеческого фактора.

**Цель:** изучение типичных инженерно-психологических проблем проектирования систем управления БПЛА.

**Этапы исследования.** Обзор литературы по проблемам инженерно-психологического проектирования интерфейсов БПЛА.

**Результаты.** Рассматриваются вопросы преодоления сенсорной изоляции оператора, негативных эффектов ошибок автоматизации, потери связи с БПЛА и монотонии, а также проблемы разработки интерфейсов для поддержки деятельности команд операторов. Также рассматриваются вопросы методологии и методов инженерно-психологического проектирования интерфейсов систем управления БПЛА.

**Выводы.** Проектирование интерфейсов систем управления БПЛА представляет собой сложную инженерно-психологическую задачу. При разработке интерфейсов систем управления БПЛА перспективным является применение систем виртуальной реальности, искусственного интеллекта и прогностических дисплеев. Актуальной задачей является разработка обобщенных инженерно-психологических рекомендаций по созданию интерфейсов БПЛА.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, инженерно-психологическое проектирование, виртуальная реальность, искусственный интеллект, проективные дисплеи, адаптивная автоматизация

**Background.** Unmanned aerial vehicles (UAVs) are nowadays widely used in various domains. Their use is connected with a broad range of psychological problems, in particular, within engineering psychology.

**Objective.** In this paper, typical engineering-psychological problems of interface design for UAVs are considered.

**Design.** Literature survey on topic related to UAV control.

**Results.** Problems of managing sensory isolation, negative effects of automation failures, connection losses and monotony, as well as problems of supporting the work of UAVs operator teams were identified and solutions proposed. We also study methodological and methodical questions within the domain of interface design for controlling UAVs.

**Conclusions.** Designing interfaces for UAVs is a complex psychological task. There are perspectives of use for virtual reality, AI, predictive displays, and adaptive automation. There is need for general recommendations concerning UAVs interface development.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, engineering-psychological design, virtual reality, artificial intelligence, projective displays, adaptive automation

## Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получили широкое распространение в военном деле и в различных гражданских областях (Гандер, Лысаков, 2017; Hobbs, Layall, 2016). Их применение сталкивается со значительными проблемами в области эргономики и человеческого фактора. Исследование авиационных происшествий с БПЛА (Williams, 2004) показало, что до 70% потерь БПЛА в той или иной мере обусловлены неправильными действиями опе-

Главная психологическая проблема управления БПЛА – это пространственная удаленность оператора от управляемого аппарата. Из-за этого оператор лишен значительного количества сенсорной информации, которая обычно сопровождает полет, и может допускать значительные ошибки в принятии решений

ратора, т.е. человеческим фактором. Это соответствует общему тренду развития сложных технических систем, когда высокий уровень автоматизации сопровождается ростом значимости надежности человека-оператора. В связи с этим большое значение получает изучение вопросов инженерно-психологического обеспечения проектирования и эксплуатации беспилотных летательных комплексов. В данной работе будут рассмотрены основные инженерно-психологические проблемы управления БПЛА.

## Психологические проблемы управления БПЛА

Управление и применение БПЛА связано с рядом серьезных психологических проблем, которые выходят за рамки вопросов, связанных с управлением пилотируемыми летательными аппаратами (Гандер, Лысаков, 2017; Gawron, 1998;

Chen et al., 2007). В таблице 1 дан обзор типичных психологических проблем, возникающих в практике использования БПЛА.

Главная психологическая проблема управления БПЛА – это пространственная удаленность оператора от управляемого аппарата. Из-за этого оператор лишен значительного количества сенсорной информации, которая обычно сопровождает полет, и может допускать значительные ошибки в принятии решений. В частности, оператор лишен проприоцептивной информации о по-

падании БПЛА в зону турбулентности. Основной источник информации – видеокамера с ограниченным полем зрения. Неудивительно, что в таких условиях ошибки пилотирования являются частой причиной потери БПЛА.

Вторая важная проблем – необходимость взаимодействия с частично ненадежной автоматизацией (Parasuraman et al., 2000; Fern et al., 2011). БПЛА значительно различаются по уровню реализованной автоматизации. Кроме того, по-разному автоматизированы различные этапы и режимы полета. Сегодня мало известно о том, какие режимы автоматизации являются оптимальными. Очевидно, это зависит от множества факторов: режима полета, решаемой задачи, качества видеосигнала, коммуникационных задержек и даже состояния и уровня подготовки оператора. Кроме того, перспективные системы могут реализовывать адаптивную автоматизацию, т.е. динамическое распределение функций между операто-

ром и БПЛА. Еще один важный аспект – ненадежность автоматических систем, в связи с чем возникает комплекс проблем по информированию оператора об ошибках автоматизации и поддержке исправления их в ручном режиме. Все эти проблемы должны будут найти решение в адекватном интерфейсе системы управления БПЛА (Ruff et al., 2002).

Необходимость поддержания коммуникации с управляемым аппаратом посредством ненадежного канала связи также ограничивает эффективность работы оператора (Cox, Wong, 2019). Это приводит к возникновению задержек, которые могут быть достаточно значительными. Задержки в исполнении команд системой всегда фрустрируют пользователя, если превышают 1 секунду. Более длительные задержки тем более повышают уровень стресса. Кроме того, они могут приводить к принятию неправильных решений, так как за время передачи сигнала ситуация может измениться. Потеря связи – сложная проблема, она может полностью нарушать понимание оператором ситуации, в которой находится БПЛА. Обеспечение надежной связи с БПЛА – это важный технический аспект проектирования беспилотных комплексов, без которого психологический комфорт и эффективная работа оператора невозможны. Однако в реальных условиях бесперебойной коммуникации не существует, что ставит перед проектировщиком интерфейса важную задачу преодоления нарушений понимания оператором состояния системы.

Психологически сложным оказываются и режимы применения БПЛА. Современные разведывательные БПЛА могут находиться в воздухе более суток, при этом имеет место высокая однообразность сопровождения такого полета. Это делает работу оператора предельно монотонной и просто выходящей за рамки физиологически приемлемого режима деятельности. Возникающие внезапно особые события – обнаружение целевого объекта или ошибки автоматизации – требуют полного включения оператора в деятельность. То, что такие переходы от состояния монотонии и недонагруженности к полной нагрузке трудны для человека и сопровождаются повышенной вероятностью ошибок, хорошо извест-



### Борис Борисович Величковский –

доктор психологических наук, доцент, доцент кафедры методологии психологии МГУ имени М.В. Ломоносова  
E-mail: velitchk@mail.ru  
[https://istina.msu.ru/profile/velichkovsky\\_bb/](https://istina.msu.ru/profile/velichkovsky_bb/)

Табл. 1. Основные психологические проблемы управления БПЛА

Сенсорная изоляция	Отсутствие слуховой и проприоцептивной информации о полете, ограниченная зрительная информация, задержки передачи изображения, низкое качество изображения
Уровни автоматизации	Значительные различия в уровне автоматизации, различная автоматизация разных отрезков полета, ошибки автоматизации
Нарушения коммуникации	Ненадежная коммуникация по радиосвязи
Необычные режимы полета	Длительный монотонный полет
Подбор команд операторов	Проблемы разделения функций между операторами, управление несколькими БПЛА одним оператором
Отбор и обучение операторов	Требования к подготовке операторов, перенос навыков
Стресс и эмоциональные проблемы	Ошибки автоматизации, потеря БПЛА, принятие ошибочных решений

Table 1. The main psychological problems of UAV control

Sensory isolation	Lack of auditory and proprioceptive flight information, limited visual information, image transmission delays, poor image quality
Automation levels	Significant differences in the level of automation, various automation of different flight segments, automation errors
Poor communication	Poor radio communication
Unusual flight modes	Long monotonous flight
Selection of operator teams	Problems of functions separation between operators, control of several UAVs by one operator
Operator selection and training	Operator training requirements, skills transfer
Stress and emotional problems	Automation errors, UAV loss, erroneous decisions

но из исследований автоматизированных систем, в которых уровень монотонии оператора заведомо гораздо ниже. Классическая проблема автоматизации – недонагрузка оператора многократно усилена в ситуации управления БПЛА (Gunn et al., 2009).

БПЛА обычно управляются командой операторов (минимум двумя). Это ставит сложные проблемы коммуникации и координации между операторами, усложняет вопросы разделения функций между автоматикой и операторами в группе. Кроме того, типичной психологической и технической проблемой является передача управления над БПЛА от одного оператора к другому, а также необходимость смены психологического контекста при смене роли оператором внутри команды. Новые вызовы сегодня – это увеличение количества БПЛА, которые управляются или, по крайней мере, отслеживаются одним оператором, и использование стратегии Multiple Operators-Multiple UAVs (МОРМУ, Много операторов – Много БПЛА) в которых несколько операторов одновременно управляют несколькими БПЛА. Показано, что в ряде случаев такая стратегия значительно повышает эффективность применения группы независимых БПЛА, однако это требует учета сложных взаимодействий технологических и психологических факторов (Parat et al., 2016).

Проблемы отбора и обучения операторов обычно выходят за рамки узко понятой проблематики проектирования интерфейсов, тем не менее, системный анализ проблематики создания средств управления БПЛА требует учета и этих факторов. За рубежом даже в военной об-

используемые и перспективные интерфейсы и средства автоматизации, проблемы обучения операторов и переноса навыков замыкаются на проблемы инженерно-психологического анализа взаимодействия человека и БПЛА.

Последняя психологическая проблема

Возникающие внезапно особые события – обнаружение целевого объекта или ошибки автоматизации – требуют полного включения оператора в деятельность. То, что такие переходы от состояния монотонии и недонагруженности к полной нагрузке трудны для человека и сопровождаются повышенной вероятностью ошибок, хорошо известно из исследований автоматизированных систем, в которых уровень монотонии оператора заведомо гораздо ниже

ласти сегодня отсутствуют единые требования к подготовке операторов БПЛА. Кроме того, неоднократно показано, что пилоты самолетов и вертолетов не обязательно становятся эффективными операторами БПЛА. Это означает, что техника пилотирования и применения БПЛА имеет свою особенную психологическую структуру, которая должна формироваться и шлифоваться в ходе специальной подготовки. Так как эта подготовка с необходимостью будет ориентироваться на

при боевом применении БПЛА – это высокая вероятность эмоционального напряжения и стресса у операторов в ходе выполнения рабочих и боевых заданий. Роль негативных эмоциональных факторов в работе операторов БПЛА неоднократно отмечалась в отечественных и зарубежных публикациях (Першин, 2017; Сафонова и др., 2018; Gal et al., 2016; Armour, Ross, 2017). Основная гипотеза заключается в том, что необходимость наносить удары по людям, в том числе

Неоднократно показано, что пилоты самолетов и вертолетов не обязательно становятся эффективными операторами БПЛА. Это означает, что техника пилотирования и применения БПЛА имеет свою особенную психологическую структуру, которая должна формироваться и шлифоваться в ходе специальной подготовки

по гражданским лицам, приводит к росту вероятности возникновения психологических расстройств таких, как посттравматическое расстройство, депрессия и профессиональное выгорание. Тем не менее, объективные исследования (Chapelle et al., 2011) показывают, что:

Дополнительные каналы сенсорной информации тоже могут перегружать оператора и снижать эффективность его работы. Проектирование ММИ для БПЛА потребует разработки качественно новой методологии, в которой психологические модели восприятия и внимания будут играть центральную роль

- 1) нет различий в вероятности развития этих состояний у операторов БПЛА и пилотов ВВС;
- 2) неблагоприятные психологические состояния развиваются преимущественно под влиянием операциональных, а не боевых стрессоров – высокой монотонии, неудобного графика работы, скученных условий работы и плохой эргономики интерфейса.

Последний результат показывает, что продуманное с учетом инженерно-психологического анализа деятельности оператора БПЛА проектирование интерфейсов систем управления БПЛА может снижать и вероятность развития неблагоприятных психологических состояний у операторов БПЛА.

### Интерфейсы БПЛА и сенсорная изоляция

Проблема сенсорной изоляции и связанное с ней сниженное осознание ситуации (Endsley, 2015) – центральная инженерно-психологическая проблема управления БПЛА. Ее преодоление может идти несколькими путями. Один путь – это использование мультимодальных интерфейсов (ММИ). ММИ предоставляют информацию оператору в нескольких модальностях – не только в зрительной, но и в слуховой, и в гаптической. Конечно, передача такой информации от

БПЛА требует установки на нем специализированных сенсоров, однако в условиях сегодняшнего развития сенсорных технологий это не представляется существенным ограничением. Например, оператору может передаваться проприоцептивная информация о нахождении в зоне

турбулентности или слуховая информация о работе двигателя. ММИ могут дополнять друг друга, а могут передавать совершенно различную информацию. Важно, что опыт использования ММИ показывает их высокую помехоустойчивость – возникающая проблема достаточно рано отражается сразу на нескольких каналах и может быть исправлена в самом начале. Кроме того, многоканальная сенсорная информация дает оператору улучшенную обратную связь – информацию о последствиях управляющих воздействий на БПЛА и снижает риск ошибок. Пробные исследования показывают увеличение эффективности управления БПЛА при использовании ММИ, хотя такое повышение эффективности может зависеть от разных факторов. Дополнительные каналы сенсорной информации тоже могут перегружать оператора и снижать эффективность его работы. Проектирование ММИ для БПЛА потребует разработки качественно новой методологии, в которой психологические модели восприятия и внимания будут играть центральную роль.

Перспективный вариант интерфейсов для БПЛА – это интерфейсы на основе виртуальной реальности (Smolyanskiy, Gonzalez-Franco, 2017; Chicaiza et al., 2018; Kotr, Novak, 2018; Watanabe, Takahashi, 2019). В таких интерфейсах управление БПЛА осуществляется в виртуальном пространстве, в котором информация

от БПЛА интегрируется с информацией из других источников данных: Глонасс/GPS, данных разведки, цифровых 3D карт местности и т.д. При этом возможны различные парадигмы управления: жестовые (Pfeil et al., 2013; Kwak, Sung, 2016), 3D джойстики и др., которые прямо отображаются на трехмерные перемещения БПЛА. Важно отметить, что такие непосредственные способы управления могут превосходить традиционные средства – мышь/джойстик, а интеграция многочисленной информации в едином виртуальном пространстве резко увеличивает осознание ситуации и снижает требования к умственной интеграции информации оператором. Интерфейсы на основе виртуальной реальности также могут быть дополнены различными сенсорными модальностями, что будет повышать уровень погружения оператора в выполняемую деятельность и способствовать преодолению сенсорной изоляции. В целом следует отметить, что создание интерфейсов БПЛА на основе виртуальной реальности может считаться основным, но несколько отдаленным путем развития в этой области инженерно-психологического проектирования.

### Выбор уровня автоматизация БПЛА

Проектирование интерфейсов БПЛА во многом зависит от уровня автоматизации функций БПЛА. Сегодня выделяют три уровня таких функций – полет, навигация и использование (т.е. целевое применение БПЛА). Кроме того, имеются функции отслеживания состояния самого БПЛА (состояния его бортовых систем, уровня топлива и пр.), которые в любом случае выполняются оператором (функция мониторинга). Функции полета и навигации сегодня часто широко автоматизированы, но при этом могут различаться режимом автоматизации. Например, оператор может закладывать в БПЛА и подтверждать траекторию полета и его параметры (management-by-consent), а может вмешиваться в самостоятельно рассчитанную БПЛА траекторию полета только в исключительных случаях (management-by-exception). Режимы автоматизации БПЛА в ближайшее время многократно

Режимы автоматизации БПЛА в ближайшее время многократно усложнятся за счет широкого распространения систем искусственного интеллекта. Для всех разнообразных режимов автоматизации понадобятся свои принципы проектирования интерфейсов БПЛА. Пока исследования отдают предпочтение среднему уровню автоматизации функций беспилотного полета (management-by-consent).

усложнятся за счет широкого распространения систем искусственного интеллекта. Для всех разнообразных режимов автоматизации понадобятся свои принципы проектирования интерфейсов БПЛА. Пока исследования отдают предпочтение среднему уровню автоматизации функций беспилотного полета (management-by-consent).

В связи с проблемой автоматизации функций возникают два дополнительных психологических вопроса. Это вопрос о надежности автоматизации и вопрос о доверии к автоматизации. Вопрос о надежности принципиален, так как любая автоматика может дать сбой. При проектировании интерфейсов систем управления БПЛА важное значение следует уделить адекватному сигнализированию о сбоях в работе автоматизированных систем. Это не тривиальная задача, далеко выходящая за пределы подачи простых звуковых оповещений. В условиях динамического изменения обстановки, высокой монотонии и связанной с ней потери бдительности, такие сигналы могут просто не замечаться. Кроме того, само автоматизированное обнаружение нарушений в работе автоматизированных систем не является надежным на 100%, что приводит к ложным тревогам и последующему игнорированию оператором сообщений об ошибках. Эта проблематика хорошо известна инженерным психологам и требует адаптации уже имеющихся решений к проблемной области управления БПЛА. Что касается доверия к автоматизации, то оно может быть избыточным со стороны оператора. В этом случае важным аспектом проектирования интерфейсов БПЛА является явное указание допусков и погрешностей действий, которые выполняют или предлагают к выполнению системы автоматизации БПЛА.

### Осознание ситуации и нарушения коммуникации

Управление БПЛА осуществляется через радиоканал. В связи с этим возникают две родственные проблемы: задержка обратной связи и потеря связи. Все они приводят к потере оператором осознания ситуации – понимания того, в ка-

ком состоянии находится управляемый БПЛА, и как изменилась оперативная ситуация в целом. В исследованиях в сфере когнитивной эргономики неоднократно отмечалось, что адекватное осознание ситуации является основной предпосылкой успешной операторской деятельности. Представляется, что решение этой проблемы на уровне проектирования интерфейсов БПЛА может лежать в сфере максимального использования прогностических интерфейсов. Прогностические интерфейсы отображают варианты изменения ситуации и состояния управляемой системы в некоторой временной

Различение режимов выполнения функций должны поддерживаться выраженными зрительными изменениями, однако их конкретная реализация остается предметом инженерно-психологического анализа. Сегодня следует концентрировать разработку интерфейсов на создание предпосылок систематического включения оператора в цикл управления для предупреждения развития эффектов монотонии

перспективе, достаточной для того, чтобы оператор мог предсказать состояние системы и оперативную ситуацию в тот момент, когда связь восстановится. Например, при потере связи прогностический дисплей может отображать курс БПЛА с учетом его предыдущего курса, заложенных навигационных программ и погодных условий. Современные вычислительные системы, доступ к значительному объему спутниковых и цифровых данных, методы искусственного интеллекта и визуализации данных – все это способствует разработке высококачественных прогностических дисплеев для систем управления БПЛА.

### Интерфейсы, автоматизация и монотония

Многочисленные психологические исследования деятельности операторов БПЛА указывают на высочайший уровень монотонии при выполнении их профессиональных обязанностей. Монотония сама по себе является негативным функциональным состоянием, а при выполнении оперативных задач важным являются связанные с ней потеря бдительности (Funke et al., 2017; Wohleber et al., 2019) и неспособность оператора быстро включиться в ситуацию, требующую его реа-

гирования. С точки зрения собственно проектирования интерфейсов, возможности предупреждения развития монотонии достаточно малы. Важным подходом к предупреждению монотонии является использование систем адаптивной автоматизации, при которой автоматика передает управление БПЛА оператору для того, чтобы он снова включился в цикл управления (Wilson, Russel, 2007; Calhoun et al., 2017). В связи с этим возникает вопрос об адекватном отображении режимов автоматизации на элементах интерфейса с целью предупреждения т.н. ошибок режима – ситуаций, в которых

автоматика передает функции управления оператору, а оператор полагает, что эти функции выполняются автоматически. Различение режимов выполнения функций должны поддерживаться выраженными зрительными изменениями, однако их конкретная реализация остается предметом инженерно-психологического анализа. Сегодня следует концентрировать разработку интерфейсов на создание предпосылок систематического включения оператора в цикл управления для предупреждения развития эффектов монотонии.

### Интерфейсы для команд операторов

Разработка интерфейсов для команд операторов приводит к постановке многих инженерно-психологических проблем. Представляется, что общая концепция проектирования операционных залов для управления сложными БПЛА и их группами должна быть направлена на достижение разделенного осознания ситуации (РОС). РОС заключается в общем понимании того, в каком состоянии находится БПЛА, какова оперативная ситуация в зоне ее действия и каковы возможные сценарии развития оперативной ситуации. Кроме того, важной инженер-

Ошибки управления БПЛА могут быть связаны с недостатками интерфейса. К ним относят, например, неудачные цветовые схемы, слишком мелкий шрифт, нестандартную/непонятную символику, непонятные сокращения и неточную информацию на дисплеях. На более высоком уровне организации интерфейса большую роль играет глобальное расположение элементов интерфейса

но-психологической задачей является разработка средств коммуникации между операторами БПЛА, которые, во-первых, не отвлекали бы оператора от выполнения основной задачи и, во-вторых, обеспечивали бы адекватный обмен информацией. Особые техники инженерно-психологического проектирования должны быть разработаны для МОМУ-сценариев, для которых еще практически нет данных об эффективности работы операторов при различных формах организации интерфейсов.

### Методология и методы проектирования интерфейсов БПЛА

В дополнение к рассмотренным выше специальным вопросам проектирования интерфейсов систем управления БПЛА в этом разделе мы рассмотрим общие методологические и методические вопросы такой работы. Управление БПЛА и их интерфейсы могут существенно различаться по ряду переменных. Основное различие заключается в уровне управления – низкоуровневый контроль полета и применение БПЛА с низким уровнем автоматизации или высокоуровневый контроль высокоавтоматизированного БПЛА. В последнем случае роль оператора сводится к мониторингу автоматизации и к принятию решений (например, о применении оружия). Именно к последнему варианту сегодня стремятся разработчики БПЛА, учитывая, в частности, данные о повышении эффективности применения БПЛА при высоком уровне автоматизации. Однако целый ряд исследований свидетельствует о том, что в высокоавтоматизированном режиме управления БПЛА могут возникать типичные ошибки, обусловленные человеческим фактором, приводящие к серьезным последствиям.

Ошибки управления БПЛА могут быть связаны с недостатками интерфейса.

К ним относят, например, неудачные цветовые схемы, слишком мелкий шрифт, нестандартную/непонятную символику, непонятные сокращения и неточную информацию на дисплеях. На более высоком уровне организации интерфейса большую роль играет глобальное расположение элементов интерфейса. Сложности считывания информации о состоянии БПЛА и ее интерпретации могут усиливаться под влиянием эмоционального стресса и высокой когнитивной нагрузки. В связи с этим при проектировании интерфейсов для БПЛА внимание следует уделить принципам человеко-ориентированного проектирования. В частности, положительный эффект может принести применение методов проектирования экологических интерфейсов, хорошо зарекомендовавших себя в области создания сложных социо-технических систем (Cauchard et al., 2015; Fernandez et al., 2016). При проектировании экологических интерфейсов делается упор на выявление умственных моделей оператора, которыми он руководствуется при управлении системой. Это делает контроль БПЛА интуитивно понятным и высвобождает ресурсы внимания и памяти для принятия решений в эмоционально- и когнитивно-сложных ситуациях.

Для проектирования и оценки качества интерфейсов БПЛА сегодня может использоваться ряд методов. Опросные методы связаны с качественной оценкой когнитивной нагрузки, которую вызывает у пилотов взаимодействие с интерфейсом. В частности, для этих целей была модифицирована шкала Харпера-Купера (Harper-Cooper Scale), обычно применяемая для оценки когнитивной нагрузки при управлении пилотируемыми летательными аппаратами. Модифицированная шкала Харпера-Купера оценивает, насколько специфические для БПЛА элементы дизайна интерфейса увеличивают когнитивную нагрузку на оператора. Как и для других опросных методов, для это-

го метода характерна высокая субъективность и зависимость от эмоциональных факторов. Поэтому интерес представляет сочетание опросных методов оценки интерфейсов БПЛА с объективными методами.

Одним таким объективным методом может быть юзабилити-тестирование (Liu et al., 2018). Хотя этот метод широко используется при проектировании интерфейсов коммерческих программных продуктов общего назначения, его упор на комплексный анализ реальных сценариев использования крайне полезен для выявления нетипичных ошибок при использовании БПЛА. Юзабилити-тестирование заключается в выполнении оператором реалистичных задач применения БПЛА с регистрацией различных показателей эффективности выполнения этих задач и последующим психологическим анализом произведенных действий. Метод может быть дополнен регистрацией различных психофизиологических показателей. Этот метод предоставляет большое количество данных, объединяет качественные и количественные виды анализа, но достаточно трудоемок. Тем не менее, сегодня большой интерес представляет перенос этой методологии на ситуации проектирования и сравнения проектов интерфейсов сложных технических систем, включая БПЛА.

Юзабилити-тестирование как метод оценки интерфейса важно и потому, что выявляет конкретные показатели качества интерфейса. Это показатели эффективности (точность работы), продуктивности (скорость работы), изучаемости (т.е. простота обучения, измеряемая как время, необходимое для обучения) и удовлетворенности пользователя. Последний показатель не так важен в военном деле, однако может в любом случае быть важным индикатором качества интерфейса. Полученные показатели по юзабилити-шкалам могут быть суммированы с разными другими показателями для комплексной оценки качества интерфейса БПЛА. В частности, опыт применения БПЛА может быть использован для построения регрессионных моделей, связывающих значения юзабилити-шкал и эффективность использования БПЛА.

В сегодняшней практике реально-го проектирования систем управления

**Табл. 2.** Требования к рекомендациям по проектированию интерфейсов БПЛА (по Hobbs, Lyall, 2016).

Общие требования	Общие требования к ЧМИ: согласованность обозначений, обратная связь, восстановление после ошибок и т.д.
Описания задач	Что оператор должен выполнить без описания того способа выполнения
Требования к дисплеям	Какая информация должна быть предъявлена без описания способа предъявления
Требования к элементам управления	Какие воздействия оператор должен иметь возможность оказывать на БПЛА без описания способа воздействия
Свойства интерфейса	Требования к физическим и функциональным свойствам интерфейса

**Table 2.** UAV Interface Design Guidelines Requirements (Hobbs & Lyall, 2016).

General requirements	General requirements for HMI - consistency of notation, feedback, error recovery, etc.
Task descriptions	What the operator should do without describing that way
Display Requirements	What information should be presented without a description of the presentation method
Control Requirements	What impacts should an operator have on UAVs without a description of the impact method
Interface Properties	Physical and functional interface requirements

БПЛА нельзя будет обойтись без системы рекомендаций. Такие рекомендации должны описывать элементы и функциональные свойства интерфейсов, указанные в таблице 2.

Наличие таких рекомендаций позволит избежать типичных ошибок при создании интерфейсов БПЛА и унифицировать этот процесс. Кроме того, на основе рекомендаций можно легко реализовать процедуру экспертной оценки проектов интерфейсов. Экспертные оценки позволяют быстро и малозатратно оценить, в какой мере проект интерфейса соответствует рекомендациям (и опыту эксперта) и быстро отбросить неперспективные проектные решения. Например, при проектировании пользовательских интерфейсов общего назначения экспертные оценки являются эффективным методом выбора проектных решений. Поэтому разработка общих рекомендаций по проектированию интерфейсов БПЛА (с учетом класса и области их использования) представляется важной и даже первоочередной задачей инженерно-психологических исследований в области проектирования систем управления БПЛА.

## Заключение

В данной работе были рассмотрены центральные психологические проблемы управления и применения БПЛА в их

связи с вопросами проектирования интерфейсов систем управления БПЛА. На основании проведенного анализа можно сделать несколько выводов:

Создание продуманной, психологически обоснованной методологии проектирования интерфейсов систем управления БПЛА позволит предупредить возникновение ошибок операторов и снизить психологическую нагрузку на последних. В целом это будет способствовать повышению эффективности применения БПЛА в самых разных отраслях

- Проектирование интерфейсов систем управления БПЛА представляет собой сложную инженерно-психологическую задачу;
- Инженерно-психологические проблемы при проектировании интерфейсов систем управления БПЛА концентрируются вокруг проблем преодоления сенсорной изоляции, недостатков автоматизации, нарушения коммуникации и осознания ситуации, преодоления негативных эффектов монотонии и поддержки работы команд операторов;
- При разработке интерфейсов систем управления БПЛА перспективным является применение систем виртуальной реальности, искусственного интеллекта и прогно стических дисплеев;
- Актуальной задачей является разработка обобщенных инженерно-психологических рекомендаций по созданию интерфейсов БПЛА

Создание продуманной, психологически обоснованной методологии проекти-

рования интерфейсов систем управления БПЛА позволит предупредить возникновение ошибок операторов и снизить психологическую нагрузку на последних.

В целом это будет способствовать повышению эффективности применения БПЛА в самых разных отраслях.

## Информация о грантах и благодарностях

Работа выполнена в рамках НИР по гранту РФФИ «Разработка фундаментальных основ построения интеллектуальных интегрированных систем обеспечения безопасности полетов беспилотных воздушных транспортных средств в едином воздушном пространстве «умного города». Номер договора: 19-29-06091 мк

## Acknowledgments

The work was carried out as part of a research project under the RFBR grant «Development of the fundamental principles of building intelligent integrated safety systems for unmanned aerial vehicles in the airspace of the smart city». Contract N19-29-06091 mk

## Литература:

- Гандер В.Д., Лысаков Н.Д. Психологические аспекты управления беспилотными летательными аппаратами // Человеческий капитал. – 2017. – № 3. – С. 41–42.
- Першин Ю.Ю. Психоэмоциональные расстройства операторов БПЛА (по материалам иностранных источников): презентация проблемы // Вопросы безопасности. – 2017. – № 3. – С. 17–30. DOI: 10.25136/2409-7543.2017.3.23194

- Сафонова А.В., Филоненко Л.В., Ковалев А.П. Учет психологических аспектов деятельности операторов беспилотных летательных аппаратов в подготовке будущих офицеров в военных вузах // Международный журнал психологии и педагогики в служебной деятельности. – 2018. – № 1. – С. 100–106.
- Armour C., & Ross J. (2017). The Health and Well-Being of Military Drone Operators and Intelligence Analysts: A Systematic Review. *Military Psychology*, 29, 83–98. doi: 10.1037/mil0000149
- Calhoun G., Draper M., Miller C.A., Ruff H., Breeden C., & Hamell J. (2013). Adaptable automation interface for multi-unmanned aerial systems control: preliminary usability evaluation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 57 (San Diego, CA), \ 26–30. doi: 10.1177/1541931213571008.
- Cauchard J., E.J., Zhai K., & Landay J. (2015). Drone & Me: an exploration into natural human-drone interaction. *Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '15*. ACM Press, New York, New York, USA, 361–365. doi: 10.1145/2750858.2805823
- Chappelle W.L., Salinas A., & McDonald K. Psychological Health Screening of USAF Remotely Piloted Aircraft (RPA) Operators and Supporting Units. *Symposium on Mental Health and Well-Being Across the Military Spectrum*. Bergen, Norway, 12 Apr. 2011.
- Chen J.Y. C., Haas E.C., & Barnes M.J. (2007). Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.* 37, 1231–1245. doi:10.1109/TSMCC.2007.905819.
- Chicaiza F., Gallardo C., Carvajal C., Quevedo W., Morales J., & Andaluz V. (2018). Real-Time Virtual Reality Visualizer for Unmanned Aerial Vehicles. *AVR 2018: Augmented Reality. Virtual Reality, and Computer Graphics*, 479–495. doi: 10.1007/978-3-319-95282-6\_35
- Cox J., & Wong K. (2019). Predictive feedback augmentation for manual control of an unmanned aerial vehicle with latency. *International Journal of Micro Air Vehicle*, 11, 1–9. doi: 10.1177/1756829319869645
- Endsley M. (2015). Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4–32. doi: 10.1177/1555343415572631
- Fern L., Shively J., Draper M., Cooke N. J., Oron-Gilad T., & Miller C. A. (2011). Human-automation challenges for the control of unmanned aerial systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55, 424–428. doi: 10.1177/1071181311551087.
- Fernández R., Sanchez-Lopez J., Sampedro C., Bavle H., Molina M., & Campoy P. (2016). Natural user interfaces for human-drone multi-modal interaction. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Arlington, VA, 1013–1022. doi: 10.1109/ICUAS.2016.7502665
- Funke M., Warm J., Matthews G., Funke G., Chiu P., Shaw T., & Greenlee E.. (2017). The Neuroergonomics of Vigilance. *Human Factors*, 59(1), 62–75. doi: 10.1177/0018720816683121.
- Gal S., Shelef L., & Oz I. et al. (2016). The contribution of personal and seniority variables to the presence of stress symptoms among Israeli UAV operators. *Disaster and Military Medicine*, 2(18). doi: 10.1186/s40696-016-0028-1.
- Gawron, V.J., (1998). Human factors issues in the development, evaluation, and operation of uninhabited aerial vehicles. *AUVSI '98: Proceedings of the Association for Unmanned Vehicle Systems International*, 431–438.
- Gunn D., Warm J., Nelson W., Bolia R., Schumsky D., & Corcoran K. (2005). Target acquisition with UAVs: vigilance displays and advanced cuing interfaces. *Human Factors*, 47(3), 488–497. doi: 10.1518/001872005774859971
- Hobbs A., & Lyall B. (2016). Human factors guidelines for unmanned aircraft systems. *Ergonomics in Design*, 24, 23–28. doi: 10.1177/1064804616640632.
- Kot, T., & Novák, P. (2018). Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(1). doi: 10.1177/1729881417751545
- Kwak J., & Sung Y. (2017). Gesture-Based User Interface Design for UAV Controls. *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*, 985–989. doi: 10.1007/978-981-10-7605-3\_157
- Liu, Y.F., Yang, N., Li, A., Paterson, J., McPherson, D., Cheng, T., & Yang, A.Y. (2018). Usability Evaluation for Drone Mission Planning in Virtual Reality. *Proceedings of International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, Las Vegas, NV, USA, 15–20 July 2018; Springer: Cham, Switzerland; 313–330. doi: 10.1007/978-3-319-91584-5\_25
- Parasuraman R., Sheridan T.B., & Wickens C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 30, 286–297. doi: 10.1109/3468.844354
- Pfeil K., Koh S., & LaViola J. (2013). Exploring 3d gesture metaphors for interaction with unmanned aerial vehicles. *Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces - IUI 13*. ACM Press, New York, New York, USA, 257. doi: 10.1145/2449396.2449429
- Porat T., Oron-Gilad T., Rottem-Hovev M. & Silbiger J. (2016) Supervising and Controlling Unmanned Systems: A Multi-Phase Study with Subject Matter Experts. *Frontiers in Psychology*, 7(568). doi: 10.3389/fpsyg.2016.00568
- Ruff H.A., Narayanan S., & Draper M.H. (2002). Human interaction with levels of automation and decision-aid fidelity in the supervisory control of multiple simulated unmanned air vehicles. *Presence Teleoper. Virtual Environ.* 11, 335–35. doi: 10.1162/105474602760204264
- Smolyanskiy N., & Gonzalez-Franco M. (2017). Stereoscopic First Person View System for Drone Navigation. *Front. Robot. AI*, 20 March 2017. doi: 10.3389/frobt.2017.00011.
- Williams, K.W. (2004). A summary of unmanned aerial aircraft accident/incident data: Human factors implications. Technical report.
- Wilson G.F., & Russell C.A. (2007). Performance enhancement in an uninhabited air vehicle task using psychophysiological determined adaptive aiding. *Human Factors* 49, 1005–1018. doi: 10.1518/001872007X249875.
- Watanabe, K. & Takahashi, M. (2019). Head-synced Drone Control for Reducing Virtual Reality Sickness. *J Intell Robot Syst* . doi: 10.1007/s10846-019-01054-6
- Wohleber R., Matthews G., Lin J., Szalma J., Calhoun G., Funke G., Chiu C., & Ruff H. (2019). Vigilance and Automation Dependence in Operation of Multiple Unmanned Aerial Systems (UAS): A Simulation Study. *Human Factors*, 61(3), 488–505. doi: 10.1177/0018720818799468.

## References:

- Armour C., & Ross J. (2017). The Health and Well-Being of Military Drone Operators and Intelligence Analysts: A Systematic Review. *Military Psychology*, 29, 83–98. doi: 10.1037/mil0000149
- Calhoun G., Draper M., Miller C.A., Ruff H., Breeden C., & Hamell J. (2013). Adaptable automation interface for multi-unmanned aerial systems control: preliminary usability evaluation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 57 (San Diego, CA), \ 26–30. doi: 10.1177/1541931213571008.

- Cauchard J, E.J., Zhai K., & Landay J. (2015). Drone & Me: an exploration into natural human-drone interaction. *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '15*. ACM Press, New York, New York, USA, 361–365. doi: 10.1145/2750858.2805823
- Chappelle W.L., Salinas A., & McDonald K. Psychological Health Screening of USAF Remotely Piloted Aircraft (RPA) Operators and Supporting Units. *Symposium on Mental Health and Well-Being Across the Military Spectrum*. Bergen, Norway, 12 Apr. 2011.
- Chen J.Y. C., Haas E.C., & Barnes M.J. (2007). Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.* 37, 1231–1245. doi:10.1109/TSMCC.2007.905819.
- Chicaiza F., Gallardo C., Carvajal C., Quevedo W., Morales J., & Andaluz V. (2018). Real-Time Virtual Reality Visualizer for Unmanned Aerial Vehicles. *AVR 2018: Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*, 479–495. doi: 10.1007/978-3-319-95282-6\_35
- Cox J., & Wong K. (2019). Predictive feedback augmentation for manual control of an unmanned aerial vehicle with latency. *International Journal of Micro Air Vehicle*, 11, 1–9. doi: 10.1177/1756829319869645
- Endsley M. (2015). Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4–32. doi: 10.1177/1555343415572631
- Fern L., Shively J., Draper M., Cooke N. J., Oron-Gilad T., & Miller C. A. (2011). Human-automation challenges for the control of unmanned aerial systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55, 424–428. doi: 10.1177/1071181311551087.
- Fernández R., Sanchez-Lopez J., Sampedro C., Bavle H., Molina M., & Campoy P. (2016). Natural user interfaces for human-drone multi-modal interaction. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Arlington, VA, 1013–1022. doi: 10.1109/ICUAS.2016.7502665
- Funke M., Warm J., Matthews G., Funke G., Chiu P., Shaw T., & Greenlee E. (2017). *The Neuroergonomics of Vigilance*. *Human Factors*, 59(1), 62–75. doi: 10.1177/0018720816683121.
- Gal S., Shelef L., & Oz I. et al. (2016). The contribution of personal and seniority variables to the presence of stress symptoms among Israeli UAV operators. *Disaster and Military Medicine*, 2(18). doi: 10.1186/s40696-016-0028-1.
- Gander V.D., & Lysakov N.D. (2017). Psychological aspects of controlling unmanned aerial vehicles. [*Chelovecheskiy kapital*], 3, 41–42.
- Gawron, V.J., (1998). Human factors issues in the development, evaluation, and operation of uninhabited aerial vehicles. *AUVSI '98: Proceedings of the Association for Unmanned Vehicle Systems International*, 431–438.
- Gunn D., Warm J., Nelson W., Bolia R., Schumsky D., & Corcoran K. (2005). Target acquisition with UAVs: vigilance displays and advanced cuing interfaces. *Human Factors*, 47(3), 488–497. doi: 10.1518/001872005774859971
- Hobbs A., & Lyall B. (2016). Human factors guidelines for unmanned aircraft systems. *Ergonomics in Design*, 24, 23–28. doi: 10.1177/1064804616640632.
- Kot, T., & Novák, P. (2018). Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(1). doi: 10.1177/1729881417751545
- Kwak J., & Sung Y. (2017). Gesture-Based User Interface Design for UAV Controls. *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing*, 985–989. doi: 10.1007/978-981-10-7605-3\_157
- Liu, Y.F., Yang, N., Li, A., Paterson, J., McPherson, D., Cheng, T., & Yang, A.Y. (2018). Usability Evaluation for Drone Mission Planning in Virtual Reality. *Proceedings of International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality, Las Vegas, NV, USA, 15–20 July 2018; Springer: Cham, Switzerland; 313–330*. doi: 10.1007/978-3-319-91584-5\_25
- Parasuraman R., Sheridan T.B., & Wickens C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 30, 286–297. doi: 10.1109/3468.844354
- Pfeil K., Koh S., & LaViola J. (2013). Exploring 3d gesture metaphors for interaction with unmanned aerial vehicles. *Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces - IUI 13*. ACM Press, New York, New York, USA, 257. doi: 10.1145/2449396.2449429
- Pershin Yu.Yu. (2017). Psycho-emotional disorders in UAV operators (based on foreign sources): issue presentation. [*Voprosy bezopasnosti*], 3, 17–30. doi: 10.25136/2409-7543.2017.3.23194
- Porat T., Oron-Gilad T., Rottem-Hovev M. & Silbiger J. (2016) Supervising and Controlling Unmanned Systems: A Multi-Phase Study with Subject Matter Experts. *Frontiers in Psychology*, 7(568). doi: 10.3389/fpsyg.2016.00568
- Ruff H.A., Narayanan S., & Draper M.H. (2002). Human interaction with levels of automation and decision-aid fidelity in the supervisory control of multiple simulated unmanned air vehicles. *Presence Teleoper. Virtual Environ.* 11, 335–35. doi: 10.1162/105474602760204264
- Safonova A.V., Filonenko L.V., & Kovalev A.P. (2018). Taking into account the psychological aspects of the activities of unmanned aerial vehicle operators in the training of future officers in military universities. [*Mezhdunarodnyy zhurnal psikhologii i pedagogiki v sluzhebnoy deyatel'nosti*], 1, 100–106.
- Smolyanskiy N., & Gonzalez-Franco M. (2017). Stereoscopic First Person View System for Drone Navigation. *Front. Robot. AI*, 20 March 2017. doi: 10.3389/frobt.2017.00011.
- Williams, K.W. (2004). A summary of unmanned aerial aircraft accident/incident data: Human factors implications. Technical report.
- Wilson G.F., & Russell C.A. (2007). Performance enhancement in an uninhabited air vehicle task using psychophysiological determined adaptive aiding. *Human Factors* 49, 1005–1018. doi: 10.1518/001872007X249875.
- Watanabe, K. & Takahashi, M. (2019). Head-synced Drone Control for Reducing Virtual Reality Sickness. *J Intell Robot Syst.* doi: 10.1007/s10846-019-01054-6
- Wohleber R., Matthews G., Lin J., Szalma J., Calhoun G., Funke G., Chiu C., & Ruff H. (2019). Vigilance and Automation Dependence in Operation of Multiple Unmanned Aerial Systems (UAS): A Simulation Study. *Human Factors*, 61(3), 488–505. doi: 10.1177/0018720818799468.