

УДК 004

***ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ СИСТЕМНОЙ
ИНЖЕНЕРИИ В РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫМИ АВИАЦИОННЫМИ
СИСТЕМАМИ***

Терентьев Д.Е.,

студент,

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,

Калуга, Россия

Соколов Н.В.,

*старший преподаватель кафедры информатики и информационных
технологий*

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,

Калуга, Россия

Аннотация

В статье рассматривается применение принципов и методов системной инженерии в контексте системы для обучения управлению беспилотными авиационными системами (БАС). Применение системного подхода для модернизации процессов системы обучения управлению БАС позволяет формализовать требования к системе, выстроить её архитектуру, оптимизировать процессы подготовки и контроля знаний, а также обеспечить безопасность и надежность функционирования. В работе описываются этапы жизненного цикла разрабатываемой системы. Кроме того, рассматриваются возможности интеграции симуляторов, элементов искусственного интеллекта, облачных платформ и средств аналитики, что способствует повышению эффективности образовательного процесса и лучшей подготовке операторов к реальным условиям эксплуатации БАС.

Ключевые слова: системная инженерия, процессы, оптимизация, архитектура системы, жизненный цикл, беспилотные авиационные системы (БАС), информационная система, обучение, симулятор, образовательная платформа.

APPLICATION OF SYSTEMS ENGINEERING PRINCIPLES AND METHODS IN THE DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR TRAINING IN THE CONTROL OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Terentyev D.E.,

student,

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,

Kaluga, Russia

Sokolov N.V.,

Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Information Technology

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,

Kaluga, Russia

Abstract

The article discusses the application of principles and methods of systems engineering in the context of a system for training in unmanned aircraft systems (UAS). The use of a systems approach to modernize the processes of the UAS training system allows formalizing the requirements for the system, building its architecture, optimizing the processes of knowledge training and control, and ensuring the safety and reliability of operation. The work describes the stages of the life cycle of the developed system. In addition, the possibilities of integrating simulators, elements of artificial intelligence, cloud platforms and analytics are considered, which contributes to increasing the efficiency of the educational process and better preparing operators for real UAS operating conditions.

Keywords: systems engineering, processes, optimization, system architecture, life cycle, unmanned aircraft systems (UAS), information system, training, simulator, educational platform.

Стремительное развитие и активное внедрение беспилотных авиационных систем (БАС) в различные сферы человеческой деятельности, включая оборону, гражданскую авиацию, сельское хозяйство, логистику и мониторинг окружающей среды, приводит к острой необходимости в качественной подготовке специалистов, способных уверенно и безопасно управлять сложными авиационными платформами в реальном времени [4]. Оператор БАС сегодня – это не просто пилот, а специалист, управляющий комплексной системой, требующий глубоких знаний в области авиации, навигации, связи, обработки данных и нормативного регулирования.

Традиционные формы обучения, основанные преимущественно на теоретических курсах и ограниченной практике на реальных аппаратах, становятся недостаточными. Они являются дорогостоящими, трудно масштабируемыми, не обеспечивают отработки действий в нештатных и аварийных ситуациях и не позволяют объективно оценивать прогресс каждого обучающегося. Возникает потребность в создании современной информационной системы, обеспечивающей комплексное, интерактивное и безопасное обучение с использованием симуляторов, интеллектуальных подсказок, автоматизированной оценки и анализа успеваемости. Такие системы должны быть гибкими, масштабируемыми и поддающимися постоянному обновлению в соответствии с развитием БАС-технологий [6].

Системная инженерия как междисциплинарный подход и концентрированная практика создания и проверки целостного жизненного цикла системы предоставляет эффективный инструментарий для решения этих сложных задач [1, 8]. Она позволяет структурированно подойти к созданию обучающих систем, начиная с анализа потребностей заинтересованных сторон, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

формализации требований, проектирования архитектуры, до реализации, верификации, валидации, тестирования и сопровождения системы. Это особенно актуально в контексте необходимости обеспечения кибербезопасности, отказоустойчивости и строгого соответствия нормативным требованиям авиационной отрасли.

Цифровая трансформация образовательных процессов, включая внедрение облачных технологий, искусственного интеллекта (ИИ), платформ удалённого доступа и аналитических панелей, требует координации множества взаимосвязанных компонентов и подсистем. Именно здесь системная инженерия демонстрирует свою высокую ценность, позволяя построить целостную, управляемую и эффективную обучающую информационную систему, соответствующую современным вызовам и стандартам подготовки операторов БАС. Целью данного исследования является демонстрация практического применения принципов и методов системной инженерии для разработки такой системы и оценка эффективности полученных результатов.

Сфера подготовки операторов БАС сталкивается с рядом устойчивых системных проблем, которые негативно влияют на качество обучения, его стоимость и, что самое главное, на безопасность будущей эксплуатации.

Одной из ключевых трудностей является недостаточный уровень автоматизации образовательного процесса. Значительная часть административных и методических процедур, таких как регистрация слушателей, формирование расписания, проверка тестовых заданий и ведение отчетности, до сих пор осуществляется вручную или с помощью разрозненных, не интегрированных между собой программных продуктов. Это приводит к замедлению рабочих процессов, увеличению числа человеческих ошибок, дублированию данных и, как следствие, к значительному снижению общей эффективности подготовки [3].

Отсутствие современных, высокоточных технических средств и симуляторов ограничивает возможности для отработки практических навыков в

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

условиях, приближённых к реальности. Многие существующие тренажеры представляют собой изолированные решения, не интегрированные в общую образовательную экосистему, что не позволяет собирать и анализировать данные о тренировках для формирования индивидуальной траектории обучения. Как отмечают некоторые исследователи, именно виртуальная реальность и комплексные симуляторы позволяют отработать действия в критических и нештатных ситуациях без риска для дорогостоящего оборудования и жизни людей [6].

Кроме того, повсеместно наблюдается высокая фрагментированность информационной инфраструктуры. Данные о ходе обучения, успеваемости, результатах симуляций и физических полётов часто хранятся в разных, не связанных между собой системах (базах данных, электронных таблицах) или вовсе в бумажном виде. Это полностью затрудняет целостный контроль за процессом подготовки, делает невозможным проведение кросс-анализа данных, мешает оперативному реагированию на отклонения и исключает возможность быстрой адаптации учебных программ к изменяющимся требованиям отрасли или индивидуальным потребностям обучающегося [3]. Отсутствие единой интегрированной платформы также создаёт барьеры для взаимодействия между всеми участниками учебного процесса (обучающиеся, инструкторы, методисты, администрация) и крайне усложняет масштабирование системы на новые учебные модули, типы БАС или географически распределенные площадки.

Разрешение описанных проблемных ситуаций требует системного, подхода. Применение системной инженерии в проектировании информационной системы для подготовки операторов БАС начинается с чёткого определения целей и требований к системе на самом раннем этапе – этапе концепции и разработки требований.

На стартовом этапе проводится всесторонний сбор информации и анализ потребностей от всех ключевых участников процесса (stakeholders): методистов, определяющих образовательный контент; инструкторов, непосредственно

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

проводящих обучение; технических специалистов, обеспечивающих работу платформы и симуляторов; и, что крайне важно, представителей организаций-заказчиков (например, Министерства обороны, аграрных холдингов, логистических компаний), которые формируют конечные требования к компетенциям выпускников. В результате формируется детальный перечень ключевых требований, таких как обеспечение интерактивного и мультимедийного учебного контента, глубокая интеграция с программными и аппаратными тренажёрами, реализация гибкой системы оценки и аттестации, возможность настройки индивидуальных учебных траекторий в зависимости от исходного уровня обучающегося, обеспечение безопасного удалённого доступа к платформе, а также автоматизированный сбор, анализ и визуализация данных об успеваемости для всех участников процесса.

К базовым принципам системной инженерии, которые легли в основу проектирования системы, относятся [1, 2, 8]:

- **Ориентация на запросы конечных пользователей и заинтересованных сторон.** Все технические решения оценивались с точки зрения их ценности для обучающегося, инструктора или администратора.

- **Модульная структура с возможностью масштабирования.** Система была спроектирована как набор слабосвязанных модулей (управление контентом, симуляция, тестирование, аналитика), что позволяет легко добавлять новый функционал, обновлять отдельные компоненты без остановки всей системы и масштабировать её под растущую нагрузку.

- **Построение архитектуры по иерархической схеме (многоуровневая архитектура).** Это позволяет абстрагировать реализацию отдельных компонентов, упрощает разработку, тестирование и сопровождение системы.

- **Циклический (итеративный) подход к разработке.** Развитие системы происходит поэтапно, в виде последовательных итераций (спринтов). Каждая итерация включает в себя планирование, разработку, тестирование и

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

внедрение части функционала, что позволяет быстро получать обратную связь от пользователей и вносить корректировки до начала следующего цикла, минимизируя риски создания продукта, не отвечающего ожиданиям.

- **Сопровождение решения на протяжении всего жизненного цикла.** Проектирование велось с учетом не только этапа разработки и внедрения, но и последующей длительной эксплуатации, технической поддержки, модернизации и утилизации, что закладывает основу для долгосрочной экономической эффективности.

Для практической реализации принципов и построения эффективной обучающей платформы были применены ключевые методы системной инженерии, обеспечивающие комплексное планирование и организацию проекта на всех этапах его жизненного цикла.

Функционально-стоимостной анализ (ФСА) был применён на этапе проектирования для анализа функций системы и связанных с ними затрат. Этот метод позволил выявить и устранить избыточные или повторяющиеся функции в различных модулях системы (например, дублирование функций проверки знаний в модуле теории и модуле симуляции), перераспределить ресурсы между модулями обучения и повысить общую эффективность использования технических средств и программных компонентов. В результате была достигнута оптимизация архитектуры и снижение потенциальных эксплуатационных расходов.

Моделирование процессов обучения было выполнено с использованием нотации BPMN (Business Process Model and Notation). Были построены AS-IS диаграммы, отражающие существующие на тот момент процессы подготовки – от подачи заявки и регистрации слушателя до проведения занятий, практических тренировок и итоговой аттестации. На их основе были разработаны TO-BE диаграммы, моделирующие целевые, оптимизированные процессы. Такой подход позволил наглядно выявить «узкие места», рутинные операции и определить зоны для первоочередной автоматизации, такие как автоматическая

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

проверка тестов, формирование отчетов и назначение симуляционных сценариев.

Архитектурное проектирование системы является краеугольным камнем всего проекта. На основе собранных требований была разработана модульная трехуровневая архитектура, включающая в себя 3 уровня: уровень представления (пользовательский интерфейс), серверный уровень (бизнес-логика) и уровень данных и аналитики

Уровень представления состоит из веб-портала, доступного с различных устройств, предоставляющий интерфейсы для обучающихся, инструкторов и администраторов. Серверный уровень состоит из ядра системы, реализующее основные функции управления курсами, пользователями, симуляциями, обработки данных и API для интеграции с внешними системами. Уровень данных и аналитики включает базы данных для хранения всей информации, а также подсистему аналитики, обеспечивающую мониторинг результатов обучения в реальном времени, построение прогнозов и адаптацию учебного контента на основе данных машинного обучения.

Управление требованиями и рисками осуществлялось непрерывно. Был сформирован и поддерживался в актуальном состоянии реестр требований, в котором каждое требование было связано с его источником (законодательный акт, потребность заказчика, техническое ограничение), приоритетом и статусом реализации. Параллельно проводилась идентификация и классификация рисков (технических – например, неготовность API симулятора; организационных – сопротивление персонала нововведениям; эксплуатационных – кибератаки). Для каждого риска оценивалась вероятность его возникновения и потенциальное воздействие, после чего разрабатывались и планировались меры по их минимизации.

Управление жизненным циклом системы было организовано в соответствии со стандартами ISO/IEC/IEEE 15288 [2]. Был реализован итеративно-инкрементальный подход, предполагающий поэтапное развитие

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

системы через регулярные обновления функционала. После первоначального внедрения ядра системы был налажен процесс сбора обратной связи от пользователей и анализа объективных результатов обучения (успеваемость, время прохождения, частота ошибок). Эти данные легли в основу бэклога развития продукта для последующих итераций, что обеспечило постоянное улучшение и эволюцию платформы в соответствии с реальными потребностями.

Дополнительно использовались методы *сценарного моделирования*, которые позволили проанализировать и оценить эффективность разных вариантов реализации системы в условиях изменяющихся внешних (появление новых типов БАС) и внутренних (рост числа пользователей, необходимость в новых курсах) факторов [5].

Разработка современной обучающей информационной системы немыслима без интеграции передовых цифровых решений, которые обеспечивают гибкость, доступность, интерактивность и высокое качество образовательного процесса. В рамках проекта были успешно интегрированы следующие технологические компоненты, выбранные на основе проведенного системного анализа:

1) Облачные платформы (IaaS/PaaS). Для развертывания системы и хранения учебных материалов была выбрана облачная инфраструктура. Это реализовало возможность безопасного доступа к теоретическим и практическим материалам из любой точки мира с различными уровнями прав для обучающихся, инструкторов и администраторов. Облачная модель также обеспечила высокую отказоустойчивость, лёгкость резервного копирования и эластичное масштабирование вычислительных ресурсов в периоды пиковой нагрузки, например, во время массовых тестирований или сложных симуляционных учений [3].

2) Симуляционные модули с элементами искусственного интеллекта. Вместо изолированных тренажеров были внедрены программные симуляторы, глубоко интегрированные в общую платформу через API. Эти симуляторы

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

способны моделировать широкий спектр сценариев управления БАС – от стандартных полётных заданий до сложных нештатных ситуаций (отказ двигателя, потеря связи, сложные метеоусловия). Элементы искусственного интеллекта используются для автоматического анализа действий оператора в симуляторе от выявления типичных ошибок до оценки времени реакции и формирования персонализированных рекомендаций по их устранению. Это приближает тренировочный процесс к работе с персональным инструктором [4, 6, 7].

3) Интерактивные панели мониторинга и аналитики (Dashboard). Для наглядности и эффективности управления учебным процессом были добавлены инструменты для визуализации данных. Инструкторы и администраторы в реальном времени видят прогресс групп и отдельных слушателей, статистику прохождения тестов, время, затраченное на задания, и рейтинги. Система аналитики на основе собираемых данных позволяет выявлять сложные для усвоения темы, оценивать эффективность самих учебных материалов и строить прогнозы об успеваемости, обеспечивая переход к управлению на основе данных.

4) Интеграция с системами сертификации и контроля знаний. Процесс аттестации был максимально автоматизирован и встроен в учебные курсы. Реализовано автоматическое формирование итоговых отчётов по каждому обучающемуся, включающих результаты проверки как теоретических блоков (тесты, эссе), так и практических навыков (записи симуляций, данные полётных заданий). Система фиксирует нарушения регламента (например, превышение времени на тест) и при успешном завершении курса автоматически генерирует и выдает цифровые сертификаты, защищённые от подделки.

5) Защита данных и адаптивная масштабируемость. Все модули системы были разработаны с учетом строгих требований информационной безопасности, включая шифрование данных при передаче и хранении, аутентификацию и авторизацию на основе ролей, аудит действий пользователей. Архитектура

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

системы изначально проектировалась с расчётом на масштабируемость – как по количеству пользователей (вертикальное и горизонтальное масштабирование), так и по числу учебных направлений и типов подключаемых симуляторов (функциональное масштабирование) [3].

Использование перечисленных решений позволило создать единую, целостную цифровую образовательную среду, соответствующую современным требованиям к профессиональной подготовке операторов БАС.

Внедрение обучающей информационной системы, спроектированной и реализованной на основе принципов и методов системной инженерии, дало ощутимые положительные результаты по ключевым направлениям деятельности учебного центра.

Во-первых, было значительно сокращено общее время подготовки одного специалиста – примерно на 30% по сравнению с традиционной схемой обучения. Этот эффект был достигнут за счёт нескольких факторов: автоматизации рутинных процессов (регистрация, проверка тестов), что освободило время инструкторов для индивидуальной работы; возможности самостоятельного изучения теоретического материала в гибком графике; а также за счёт адаптивных учебных траекторий, которые позволяют уделять больше времени сложным для усвоения темам и сокращать время на уже освоенные.

Во-вторых, количество ошибок в процессе обучения (на этапах тестирования, регистрации данных, расчёте итоговых оценок) снизилось более чем вдвое. Это прямое следствие внедрения цифрового контроля и автоматизированных проверок, которые исключили человеческий фактор из рутинных операций. Система самопроверки и мгновенной обратной связи в симуляторах также позволила обучающимся сразу корректировать свои действия, не заучивая ошибки.

В-третьих, был отмечен повышенный уровень удовлетворённости как обучающихся, так и преподавателей. Пользователи отметили удобство и интуитивную понятность интерфейса, чёткость навигации и круглосуточный

доступ к учебным материалам и симуляторам с любого устройства. Инструкторы получили мощный инструмент для мониторинга прогресса и выявления проблемных зон у каждого студента.

В-четвертых, была улучшена адаптивность системы к различным категориям пользователей. Платформа успешно используется для начальной, продвинутой и специализированной подготовки (например, для конкретных моделей БАС или отраслей применения). Модульная архитектура позволяет быстро составлять новые курсы из существующих компонентов.

В-пятых, было достигнуто снижение эксплуатационных и организационных затрат примерно на 20%. Это стало возможным благодаря централизованному управлению всем учебным процессом из единой консоли, полному отказу от бумажного документооборота, сокращению времени администрирования и оптимизации использования дорогостоящих ресурсов (например, более эффективное расписание для доступа к физическим тренажёрам благодаря предварительной отработке навыков в симуляторе).

Наконец, была повышена прозрачность всех процессов для руководства. Методисты и руководители подготовки получили доступ к расширенной аналитике и детализированным отчётам, что позволило оперативно реагировать на возникающие трудности, объективно оценивать эффективность учебных программ и своевременно вносить в них корректировки для повышения качества подготовки.

Таким образом, применение системного подхода и методов системной инженерии дало устойчивые положительные результаты как в части повышения качества, гибкости и доступности образовательного процесса, так и в аспекте операционной и экономической эффективности администрирования всей платформы.

Заключение

Проведенная работа демонстрирует, что применение принципов и методов системной инженерии является не просто предпочтительным, а необходимым

условием для успешной разработки сложных информационных систем, к которым, безусловно, относится и платформа для обучения управлению БАС.

Системная инженерия позволила перейти от разрозненного, фрагментированного подхода к подготовке операторов к целостному управлению всем жизненным циклом образовательного процесса. Обеспечена структурированность, гибкость, масштабируемость и высокая степень адаптации системы к меняющимся внутренним и внешним требованиям. Методы ФСА, моделирования процессов, архитектурного проектирования и управления рисками доказали свою практическую ценность, позволив создать оптимизированное, экономически эффективное и технологически современное решение.

Важно подчеркнуть, что успешное внедрение такой системы требует не только безупречной технической реализации, но и проведения организационных изменений, активной работы по подготовке и обучению кадров (инструкторов, администраторов), а также постоянной методической и технической поддержки со стороны администрации учебного заведения. Преодоление сопротивления изменениям и интеграция платформы в ежедневную практику являются критическими факторами успеха.

Разработанная информационная система может стать ценным инструментом не только в военной, но и в гражданской сфере, способствуя развитию этой перспективной отрасли в России за счёт подготовки высококвалифицированных и конкурентоспособных специалистов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более глубокую интеграцию технологий искусственного интеллекта для создания интеллектуальных тьюторских систем, а также на разработку стандартов и регламентов для сертификации подобных обучающих комплексов.

Библиографический список:

- 1) INCOSE. Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. — 4th ed. — Wiley, 2015. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://download.e-bookshelf.de/download/0003/6422/62/L-G-0003642262-0007580512.pdf> (дата обращения: 17.08.2025)
- 2) ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering — System life cycle processes. — Geneva: ISO, 2023. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://www.iso.org/standard/81702.html> (дата обращения: 17.08.2025)
- 3) Алешечкин Н.Д., Власов В.П. Применение тестовой оценки знаний в высшей школе // Вестник науки и образования. 2024. №1 (144)-1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenienie-testovoy-otsenki-znaniy-v-vysshey-shkole> (дата обращения: 16.08.2025).
- 4) Будкин Е.Г., Постников А.А., Лагутина Е.И. Роль симулятора в подготовке оператора БПЛА вызов современности процессу обучения в военном вузе // ВВО. 2023. №3 (42). [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-simulyatora-v-podgotovke-operatora-bpla-vyzov-sovremennosti-protsessu-obucheniya-v-voennom-vuze> (дата обращения: 16.08.2025).
- 5) Виноградский В.Г., Терентьев Д.Е. Разработка информационной системы для обучения управлению беспилотными авиационными системами / В. Г. Виноградский, Д.Е. Терентьев // Дневник науки. – 2025. – № 5. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2025/5/technics/Vinogradsky_Terentyev.pdf (дата обращения: 17.08.2025)
- 6) Загородный А. А., Копша О. Ю. Использование технологий виртуальной реальности для развития профессиональных компетенций операторов БПЛА // Вестник науки. 2024. №12 (81). [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologiy-virtualnoy-realnosti->

[dlya-razvitiya-professionalnyh-kompetentsiy-operatorov-bpla](#) (дата обращения: 16.08.2025).

7) Исаев Р.Р., Исмагилов А.А. Методические аспекты обучения пилотированию БПЛА с применением компьютерных симуляторов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2019. №2 (50). [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-obucheniya-pilotirovaniyu-bpla-s-primeneniem-kompyuternyh-simulyatorov> (дата обращения: 17.08.2025).

8) Системная инженерия. Принципы и практика / А. Косяков, Свит Н. Уильям, Сеймур Дж. Сэмюэль, Бимер М. Стивен ; перевод А. А. Слинкин. — Саратов : Профобразование, 2017. — 624 с. — ISBN 978-5-4488-0042-9. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64063.html> (дата обращения: 17.08.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Оригинальность 80%