



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ  
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**ФАКУЛЬТЕТ** МФ

**КАФЕДРА** АКПЛА

**Направление подготовки** 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация  
(код и наименование направления подготовки)  
авиационной и ракетно-космической техники

**Направленность** 05.02.22 Организация производства (транспорт)  
(наименование направленности)

**НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Тема** Обоснование рационального парка беспилотных и  
пилотируемых ВС авиакомпаний

**Обучающийся:**

Витковский Евгений Владиславович  
(Ф.И.О.)

  
(Подпись)

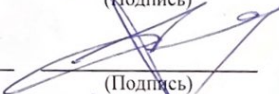
**Научный руководитель:**

д.т.н., профессор, Киселев М. А.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)


  
(Подпись)

**Рецензенты:**

д.т.н., профессор, Петров Ю. В.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

  
(Подпись)

д.т.н., профессор, Самойленко В. М.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

  
(Подпись)

**Работа допущена к защите:**

**Заведующий кафедрой**

д.т.н., профессор, Киселев М.А.  
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.)

  
(Подпись)

**МОСКВА 2024**

**Актуальность темы.** С каждым годом увеличивается количество и разнообразие беспилотных воздушных судов (БВС). На настоящий момент их использование для гражданских целей ограничивается в основном БВС малой размерности для задач мониторинга. В то же время существует успешный опыт создания больших БВС военного назначения, что свидетельствует о потенциале создания БВС для перевозки грузов в среднесрочной перспективе для гражданской авиации (ГА). С учетом меньшей стоимости жизненного цикла беспилотной авиационной системы (БАС) по сравнению с пилотируемыми воздушными судами (ВС), актуальной представляется задача по формированию требований к грузовым БВС по типуажу и лётно-техническим характеристикам (ЛТХ), а также определения рационального сочетания беспилотных и пилотируемых ВС в парке грузовой авиакомпаний.

Анализируя статистику грузовых авиаперевозок, видно, что существует тенденция увеличения объёмов перевозок, но коммерческая загрузка при этом снижается. Это подчёркивает актуальность проблемы изменения структуры парка грузовых авиакомпаний с возможностью включения в него БВС, которые за счёт своей меньшей размерности могут обеспечить более высокую коммерческую загрузку.

В современном мире существует тенденция на автоматизацию процессов. Эта тенденция относится и к ГА, так как со временем была уменьшена численность экипажа, а с внедрением БВС экипаж исключается из контура ВС полностью. Его отсутствие сокращает финансовые затраты на фонд оплаты труда и за счёт отсутствия систем жизнеобеспечения и отсеков для размещения экипажа, что в свою очередь позволяет смягчить требования к конструкции и системам ВС, реализовать новые компоновочные решения. Это обеспечит снижение массы конструкции, улучшит аэродинамических характеристик и сократит прямые эксплуатационные расходы. Данный подход поможет авиакомпаниям также решить проблему нехватки летных экипажей и снизить влияние человеческого фактора на безопасность полётов.

Основными препятствиями на пути к внедрению БАС являются отсутствие необходимой инфраструктуры для посадки, проблемы законодательной базы, точность навигации и коммуникации с участниками воздушного движения, а также сложность организации автономного полёта. Однако на примере военных БВС видно, что технические возможности позволяют использовать в будущем БАС и в гражданских целях.

В сфере грузовых перевозок многие страны активно разрабатывают БАС для гражданского применения. Некоторые компании уже пытаются внедрять данные решения в свои логистические цепочки. Помимо рассмотренных проблем будет уменьшения времени простоя, и повышается оперативности доставки по сравнению с эксплуатацией парка исключительно пилотируемыми воздушными судами (ПВС). Также актуальной представляется задача по формированию требований к грузовым БВС (типажу, лётно-техническим характеристикам) и определения рационального сочетания беспилотных и пилотируемых ЛА в парке грузовой авиакомпанияи.

**Объект исследования.** Объектом данного исследования являются грузовые перевозки с внедрением беспилотных летательных аппаратов.

**Предмет исследования.** Предметом исследования являются методы и стратегии формирования рационального парка воздушных судов, обеспечивающего оптимизацию операционных и экономических показателей авиакомпанияи, а также составление облика и требуемых характеристик БАС для грузовых перевозок.

**Проблема и её актуальность.** Проблема заключается в необходимости разработки научно обоснованных стратегий для формирования рационального парка воздушных судов, включающего как пилотируемые, так и беспилотные воздушные суда. Актуальность проблемы обусловлена стремительным развитием технологий беспилотных летательных аппаратов, увеличением требований к экономической эффективности и экологичности воздушных перевозок, а также необходимостью обеспечения безопасности и надёжности авиационных операций.

**Гипотеза.** Предполагается, что добавление в парк грузовой авиакомпания беспилотных воздушных судов будет способствовать повышению её эффективности за счёт снижения затрат и увеличения коэффициента загрузки.

### **Цель и задачи научной работы.**

Цель данного исследования заключается в повышении эффективности грузовой авиакомпании. Для достижения этой цели предполагается решение следующих задач:

1. Анализ существующих подходов к управлению парком ПВС.
2. Изучение современных технологий и тенденций в области БВС.
3. Исследование экономических, операционных и экологических аспектов интеграции БВС в парк воздушных судов авиакомпании.
4. Разработка методики оценки и выбора оптимального сочетания ПВС и БВС, обоснование рациональной структуры грузовой авиакомпании со смешанным парком ВС.
5. Разработка методики формирования облика грузового БВС по типуажу и лётно-техническим характеристикам для внедрения в парк авиакомпаний.
6. Разработка рекомендаций по формированию рациональной структуры парка смешанных ВС и стратегии внедрения и эксплуатации БВС в среднесрочной и долгосрочной перспективах для грузовых авиакомпаний.

### **Научное и прикладное значение работы.**

Научное - методики обоснования рациональной структуры грузовой авиакомпании со смешанным парком ВС (пилотируемых и беспилотных) и формирования облика грузового БВС по типуажу и лётно-техническим характеристикам.

Прикладное – рекомендации по формированию рациональной структуры грузовой авиакомпании со смешанным парком ВС (пилотируемых и беспилотных) для среднесрочных и долгосрочных перспектив.

**Научная новизна работы.** Новизна данного исследования заключается в интеграции беспилотных воздушных судов в стратегическое управление парком авиакомпаний, что представляет собой малоизученное направление. Впервые предполагается провести исследования по обоснованию рациональной структуры грузовой авиакомпании со смешанным парком ВС и требований к грузовым БВС (типаж, ЛТХ).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика формирования облика грузового БВС
2. Рекомендации по формированию рациональной структуры парка смешанных (пилотируемых и беспилотных) ВС для грузовых авиакомпаний

**Противоречие между известным и неизвестным знанием.**

Современные авиакомпании сталкиваются с необходимостью балансировать между эксплуатацией традиционных пилотируемых воздушных судов и внедрением новейших беспилотных технологий. С одной стороны имеются обширные исследования и наработки в области управления парком ПВС; с другой стороны, интеграция БВС в коммерческую эксплуатацию представляет собой относительно новое и малоизученное направление. Это создаёт противоречие между известными эффективными методами управления парком ПВС и недостаточными знаниями о долгосрочных преимуществах и вызовах, связанных с внедрением БВС.

**Направления и методы решения.** Исследование будет проводиться в следующих направлениях:

1. Теоретический анализ: Исследование литературы и существующих наработок в области управления парком воздушных судов.
2. Эмпирическое исследование: Сбор и анализ данных о текущих практиках и результатах внедрения БВС в авиакомпании.
3. Моделирование и оптимизация: Разработка математических моделей для оценки эффективности различных стратегий управления парком.

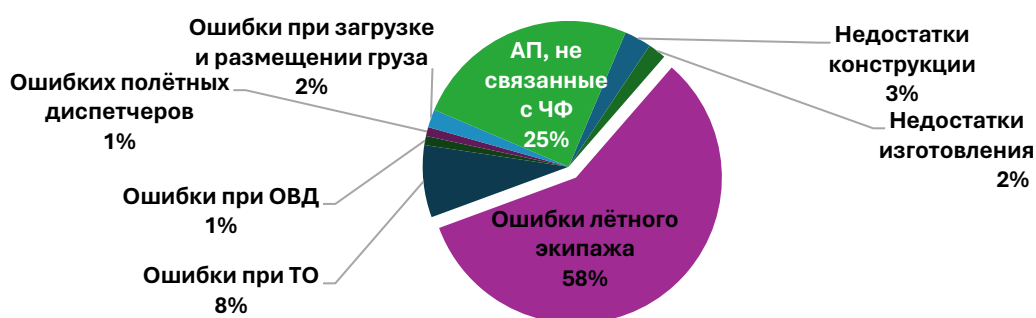
4. Экспертное интервьюирование: Проведение интервью с экспертами в области авиации, а также посещение конференций, выставок и форумов для получения практических инсайтов и рекомендаций в области исследования.

### **Анализ проблем пилотируемой авиации и способы их решения.**

Воздушный транспорт обладает конкурентными преимуществами, такими как скорость доставки и необходимость относительно небольшой инфраструктуры. Однако стоимость перевозок и трудность полной загрузки воздушного судна (ВС) остаются значительными недостатками.

Рассмотрим отдельные, наиболее важные, на наш взгляд, проблемы пилотируемой авиации на сегодняшний день:

1. **Уровень безопасности полетов.** Человеческий фактор является одной из основных причин авиационных происшествий (рис. 1). Автоматизация полетов помогает снизить влияние человеческого фактора, но одновременно приводит к снижению навыков пилотов из-за уменьшения количества часов ручного пилотирования. Поэтому внедрение БАС является одним из способов снижения данного риска.



**Рис. 1.** Факторы, влияющие на безопасность полётов

2. **Неполная коммерческая загрузка.** Коммерческая загрузка воздушных судов часто ниже оптимальной из-за ограниченного разнообразия типов пилотируемых ВС и логистических ограничений. Использование БВС представляется перспективным с точки зрения решения указанной проблемы ввиду того, что конструкция БВС даёт большие возможности

в плане использования различных конструктивных схем (с открытыми реконфигурируемыми грузовыми кабинами и внешней подвеской), позволяющих увеличить коммерческую загрузку.

3. **Кадровые проблемы.** Количество пилотов часто не соответствует потребностям авиакомпаний (рис.2), что приводит к простоям воздушных судов или перегрузке пилотов. Использование БВС может сократить проблему, так как подготовка операторов БВС менее затратная и более быстрая, а также есть возможность варьирования числа эксплуатируемых БВС одним внешним пилотом



**Рис. 2.** Отношение потребного количества пилотов к действующему с 2013 по 2022 гг..

### **Проблемы и перспективы беспилотной авиации**

1. *Технические проблемы.* Необходимость создания новых типов БВС и организации их серийного производства. Важно также разрабатывать необслуживаемые системы и автоматические системы заправки и диагностики для обеспечения высокой автономности БВС.
2. *Юридические проблемы.* Недостатки нормативной базы в части сертификации и интеграции БВС в общее воздушное пространство. Важно создать унифицированные требования к системам управления БВС, чтобы упростить подготовку операторов и увеличить количество сертифицированных БВС.

## Анализ рынка

Рынок беспилотных авиационных систем развивается интенсивно, особенно в развитых странах. В 2022 году его объем составил 339 млрд долларов (рис. 3), что сопоставимо с рынком региональных самолетов. К 2030 году прогнозируется рост до 558 млрд долларов. В России рынок БАС также имеет значительный потенциал, однако его развитие сдерживается несовершенством законодательства.



Рис. 3. Рынок БВС.

## Сравнительный анализ характеристик БВС и пилотируемых ВС

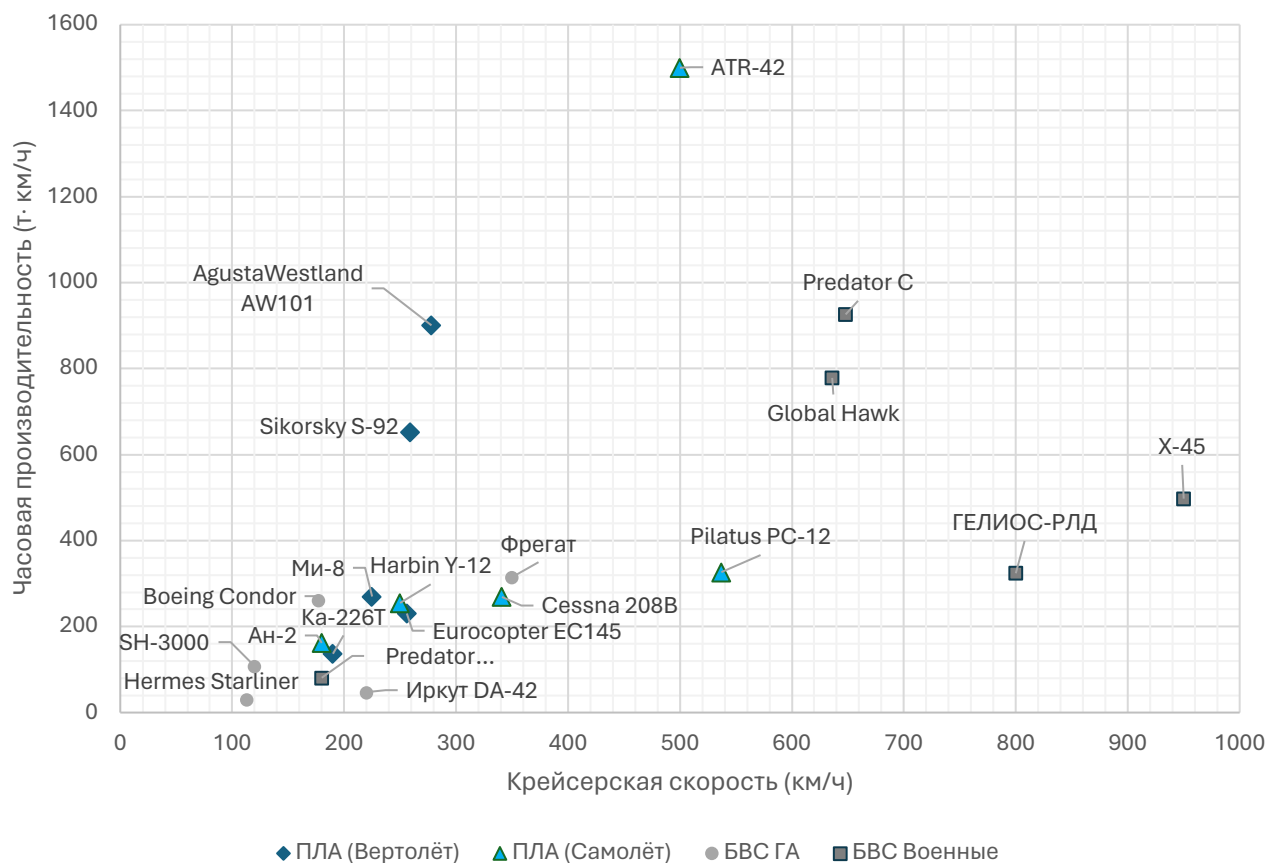
БВС имеют ряд преимуществ перед пилотируемыми ВС, включая возможную более низкую стоимость эксплуатации и возможность выполнения задач, недоступных для пилотируемых судов. В частности, БВС могут эффективно использоваться для повышения коммерческой загрузки грузовых ВС авиакомпании мониторинга технических объектов, сельского хозяйства и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Проведя анализ эксплуатируемых ПВС и БВС, были сделаны следующие выводы (рис. 4):

- большинство БВС гражданского назначения имеют характеристики, сравнимые с вертолётами и ближнемагистральными самолётами т.е. скорость 100–400 км/ч, производительность до 400 тонн·км/ч, а полезную нагрузку не более 2 тонн;
- военные БВС обладают более высокой скоростью и часовой производительностью. В результате военные БВС обладают большим разнообразием (относительно гражданских БВС), что позволяет им



конкурировать с многими типами пилотируемых ЛА. Некоторые из военных БВС уже приближаются по производительности к самолетам средней размерности, а по скорости даже превосходят их. Что показывает большой потенциал развития БАС в области грузоперевозок.



**Рис. 4.** Сравнение производительности типов ЛА в зависимости от скорости.

Развитие беспилотных авиационных систем представляет значительный потенциал для повышения эффективности и безопасности воздушного транспорта. Для чего была разработана методика по формированию смешанного парка грузовой авиакомпания, а также методика формирования требуемых характеристик для БВС.

### **Методика составления пропорций парка между различными типами воздушных судов (ПВС и БВС)**

Методика включало следующие основные этапы:

### **1. Анализ текущего парка:**

Сбор данных о текущем парке воздушных судов, включая типы, технические характеристики и эксплуатационные показатели, а также работа с данными о привезённых грузах и маршрутах. Определение текущего распределения воздушных судов по типам и анализ их эффективности с учетом технических характеристик и эксплуатационных данных.

### **2. Определение критериев выбора:**

Установление критериев для выбора типов воздушных судов, таких как грузоподъемность, дальность полета, эксплуатационные расходы, коммерческая загрузка, надежность и экологические характеристики.

*Грузоподъемность:* Оценка потребностей компании в зависимости от типов грузов и их объемов.

*Дальность полета:* Учет дальности маршрутов и потребности в беспосадочных перелетах.

*Эксплуатационные расходы:* Анализ затрат на обслуживание, топливо, амортизацию и другие эксплуатационные расходы.

*Надежность и экологические характеристики:* Оценка надежности воздушных судов и их соответствия экологическим стандартам.

### **3. Разработка математической модели:**

Построение математической модели для оптимального распределения воздушных судов по типам с учетом факторов, таких как грузопотоки, маршруты. Данная модель, реализованная в виде блок-схемы. Она обеспечивает системный подход к анализу и распределению воздушных судов, что позволяет повысить эффективность эксплуатации и соответствовать требованиям компании.

### **4. Оптимизация парка:**

Применение методов оптимизации для нахождения наиболее рационального распределения воздушных судов. Моделирование различных сценариев и оценка их влияния на эффективность авиакомпании.

*Методы оптимизации:* Применение линейного программирования и других методов оптимизации для нахождения наиболее рационального распределения воздушных судов.

*Моделирование сценариев:* Проведение моделирования различных сценариев распределения парка и оценка их влияния на эффективность авиакомпаний.

## **5. Реализация и мониторинг:**

Внедрение полученных решений и мониторинг эффективности распределения парка воздушных судов.

## **Математическая модель формирования облика и ЛТХ воздушных судов для повышения эффективности грузовой авиакомпании**

Цель модели заключается в формирование оптимального облика воздушных судов для повышения эффективности грузоперевозок.

Данная методика включает следующие ключевые этапы:

### **1. Определение требований к воздушным судам:**

- Анализ текущих потребностей грузоперевозок.
- Определение ключевых характеристик: грузоподъемность, дальность полета, скорость, эксплуатационные расходы и надежность.

### **2. Моделирование ЛТХ:**

Разработка математической модели для расчета ЛТХ на основе определенных требований, осуществляется в виде блок-схемы. Она описывает методику формирования облика и летно-технических характеристик (ЛТХ) воздушных судов с целью повышения эффективности работы грузовой авиакомпании.

### **3. Оптимизация конфигурации воздушных судов:**

Применение методов оптимизации для выбора конфигурации, удовлетворяющей заданным требованиям и ограничениями.

### **4. Анализ затрат и выгод:**

Проведение анализа затрат и выгод от внедрения новых воздушных судов.

#### **5. Внедрение и мониторинг:**

Внедрение оптимальной конфигурации воздушных судов и постоянный мониторинг их эффективности.

Выводы исследования подтверждают необходимость внедрения в эксплуатацию грузовых авиакомпаний БАС. Результатом данной работы стали методика по формированию смешанного парка, которая поможет грузовой авиакомпании оптимально распределить заказы по воздушным судам, вычислить необходимое количество каждого типа ВС, минимизируя затраты и обеспечивая выполнение всех требований к перевозке. В рамках исследования также была выработана методика формирования потребных характеристик БВС. Она может быть использована как эксплуатантами для подбора оптимальных БВС в свои парки, так и для производителей БВС для разработки облика и характеристик, проектируемых БВС. По итогам данной работы были сформированы рекомендации по формированию рациональной структуры парка смешанных ВС и стратегии внедрения и эксплуатации БВС в среднесрочной и долгосрочной перспективах для грузовых авиакомпаний.