

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
УСИЛИТЕЛЕЙ «ТЯГИ» ВЕРТОЛЕТА****Сабирова Ш.М.***Доцент кафедры «Инженерные коммуникации и системы***Мадаминова М.Н.**ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5435-9551>*Ташкентский государственный транспортный университет**Факультет авиационной инженерии, студент*E-mail: mmadaminova540@gmail.com**Турдимуродов А.Б.**ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6438-3960>*Ташкентский государственный транспортный университет, студент*E-mail: azamatturdimurodov6701206@gmail.com

Аннотация. В условиях возрастающей значимости эффективности и безопасности в авиации совершенствование системы управления вертолётom становится актуальной задачей. В данной статье анализируются пути повышения эффективности гидравлических «тяг». Исследования показывают, что вибрации и динамические нагрузки являются основной проблемой. Использование композитных материалов, оптимизированной конструкции и совершенствование потоков позволяют снизить потери энергии. Кроме того, «адаптивные демпферы» (то есть устройства, уменьшающие вибрации в зависимости от условий), снижают вибрации и повышают точность и надёжность управления. В результате предложенные решения позволяют повысить эффективность системы на 20–30%.

Ключевые слова. Вертолёт, гидравлический усилитель, управляющая тяга, адаптивный демпфер, вибрация, эффективность, композитные материалы, инженерные инновации.

Abstract. As efficiency and safety in aviation become increasingly important, improving helicopter control systems is becoming a relevant issue. This article analyzes ways to increase the efficiency of hydraulic control rods. Studies show that vibrations and dynamic loads are the main problem. The use of composite materials, optimized design, and improved flow paths reduces energy losses. In addition, “adaptive dampers” (that is, devices that reduce vibrations depending on operating conditions) decrease vibrations and improve control accuracy and reliability. As a result, the proposed solutions can increase system efficiency by 20–30%.

Keywords. Helicopter, hydraulic booster, control rod, adaptive damper, vibration, efficiency, composite materials, engineering innovation.

ВВЕДЕНИЕ

Человек — это существо с неограниченной способностью к мышлению. Он подобен частице, плавающей в бесконечности. У него множество изобретений, и одним из самых совершенных является вертолет и самолет.



Рис. 1. 14 сентября 1939 года, Игорь Сикорский и вертолет Vought-Sikorsky VS-300.

Идея создания вертолета впервые была разработана несколькими учеными, но на практике успешный вертолет создал Игорь Сикорский. Идея вертолета очень древняя. Даже Леонардо да Винчи в XV веке нарисовал чертеж «Воздушного винта», похожего на вертолет. Однако тогда технологии были недостаточны, и это осталось лишь проектом. В этих условиях, 14 сентября 1939 года Игорь Сикорский создал вертолет Vought-Sikorsky VS-300. Этот вертолет поднялся в воздух и был управляем благодаря большому несущему ротору и маленькому хвостовому ротору, и именно эта конструкция легла в основу современных вертолетов.

Теперь, завершив исторический обзор, рассмотрим конструкцию современных вертолетов. Современные вертолеты состоят из сложных технических систем, обеспечивающих вертикальный взлет и посадку, зависание в воздухе, а также свободное движение в различных направлениях. Основные части вертолета включают фюзеляж, роторную систему, двигатель, трансмиссию, шасси и систему управления. В следующей таблице приведены основные конструктивные элементы современных вертолетов и их функции.

АНАЛИЗ НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основные элементы конструкции современных вертолетов

Таблица 1.

№	Конструктивная часть	Описание	Основная функция
1	Фюзеляж (корпус)	Основная конструктивная часть вертолета, в которой расположены кабина экипажа, пассажирский или грузовой отсек, двигатель и авиационная электроника.	Объединение всех систем, размещение экипажа и груза.
2	Основная роторная система	Вращающийся механизм, состоящий из нескольких аэродинамических лопастей, создающий подъемную силу вертолета.	Подъем вертолета в воздух и удержание его в полете.
3	Хвостовой ротор	Малый ротор, расположенный в хвостовой части вертолета, балансирующий крутящий момент основного ротора.	Управление направлением и предотвращение вращения вертолета.
4	Система двигателя	В современных вертолетах используются в основном газотурбинные двигатели.	Производство мощности, необходимой для вращения роторов.
5	Трансмиссионная система	Комплекс механизмов, передающих энергию от двигателя к основному и хвостовому роторам.	Передача мощности роторам и регулирование скорости вращения.
6	Шасси (посадочное устройство)	Конструкция, обеспечивающая посадку вертолета на землю и его устойчивое положение. Может быть колесного или лыжного типа.	Обеспечение посадки и устойчивости на земле.
7	Система управления	Механическая или электронная система, управляемая с помощью коллективного шага, циклического шага и педалей.	Управление высотой, направлением и движением вертолета.
8	Авионная система	Комплекс электронного оборудования для навигации, связи и контроля полета.	Обеспечение безопасности полета и навигации.

Примечание: Из приведённой выше таблицы нас интересует именно 7-й столбец.

Одним из важных элементов конструкции вертолета является система управления, обеспечивающая стабильное и безопасное управление летательным

аппаратом. Система управления передает команды пилота к роторной системе и контролирует высоту, направление и движение вертолета. Основные управляющие механизмы — это управление с помощью «коллективного шага», «циклического шага» и педалей, которые регулируют угол наклона лопастей ротора, управляя подъемной силой, направлением движения и вращением вертолета.

Гидравлические усилители («тяги») являются важной составной частью системы управления, усиливая усилия пилота и точно передавая их на роторные механизмы. «Тяги» передают силы и движения между ручками управления, исполнительными механизмами («actuator») и роторной системой, а также должны выдерживать вибрации, динамические нагрузки и аэродинамические воздействия. Если конструкция «тяг» недостаточно прочная, это негативно сказывается на устойчивости и безопасности управления.

Последние исследования (**J. Leishman, W. Johnson, G. Padfield, R. Prouty**) изучают аэродинамические и механические свойства гидравлических усилителей, их устойчивость к вибрациям и возможности оптимизации материалов. Результаты показывают, что современные композитные материалы и конструктивные улучшения повышают эффективность «тяг», точность управления и безопасность вертолета.

Цель: Научно проанализировать конструкцию гидравлических усилителей («тяг») в системе управления вертолета и разработать технические решения для повышения их эффективности.

Анализ вибраций и динамических нагрузок

На «тяги» системы управления вертолета действуют силы, передаваемые от роторной системы и органов управления. Эти силы состоят из двух основных компонентов: **динамических нагрузок и вибраций**. Их анализ необходим для оценки точности работы «тяг», срока службы и устойчивости роторной системы.

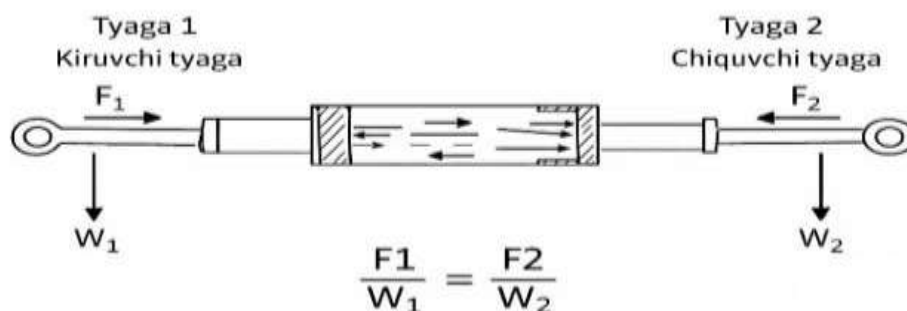


Рис. 2. Схематический (условный) чертеж тяги вертолета с действующими на нее общими силами.

1. Анализ динамических нагрузок:

Общие силы, действующие на «тяги» в процессе полета вертолета. Динамическую нагрузку можно представить в упрощенном виде следующим образом:

$$F_d = m \cdot a + k \cdot x \quad (1)$$

Примечания:

- F_d – Общая динамическая сила, действующая на тягу, N
- $m \cdot a$ – Сила, зависящая от массы тела и ускорения (в соответствии со вторым законом Ньютона), N
- $k \cdot x$ – Упругая сила (сила растяжения/сжатия упругого элемента), N.

2. Вибрация в гидравлической системе:

Вибрация, возникающая в тягах, связана с работой гидравлического усилителя и демпферных механизмов. Вибрацию можно представить с помощью упрощённого уравнения гармонических колебаний:

$$F_d = m \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x - F(t); \quad (2)$$

Примечания:

- $m \frac{d^2x}{dt^2}$ – сила, зависящая от массы (сила инерции), N, ($F=m \cdot a$);
- $k \cdot x$ – Упругая сила (сила растяжения/сжатия упругого элемента), N;
- $F(t)$ – Сила устройств, уменьшающих колебания в соответствии с условиями, N.

С помощью этого уравнения определяется амплитуда и частота вибраций, возникающих в тягах под воздействием гидравлической системы. Таким образом, можно оценить согласованную работу конструкции тяг с гидравлическим усилителем.

1. Проблема:

В системе управления вертолета гидравлические усилители («тяги») постоянно подвергаются динамическим нагрузкам и вибрациям, поступающим от ротора и фюзеляжа. Это приводит к следующим проблемам:

- Механическая деформация «тяг» и сокращение срока их службы.
- Снижение точности управления ротором.
- Рост потерь энергии (часть силы, передаваемой через гидравлическую систему, превращается в тепло).

Математически общую силу, действующую на «тяги», можно определить по формуле (1):

Если F_d достигает максимального значения, деформация «тяги» (x) увеличивается, а точность управления снижается.

Предлагаемые решения:

Использование композитных материалов:

- Изготовление «тяг» из лёгких и прочных композитных материалов (например, углеродное волокно или арамидные нити).

• Это уменьшает массу (m), следовательно, динамическая сила ($F_d = m \times a + \dots$) снижается.

Оптимизированная конструкция:

• Проектирование формы и внутренних полостей «тяги» с учетом аэродинамических и механических нагрузок.

• Коэффициент упругости (k) доводится до оптимального уровня.

В результате для новых «тяг» динамическая нагрузка и вибрации будут определяться как:

$$F_d^{yangi} = (m - \Delta m) \times a + k_{opt} \times x \quad (3)$$

Где:

• $\Delta m > 0$ — уменьшение массы;

• k_{opt} — оптимальный коэффициент упругости.

Таким образом, ожидается, что эффективность работы «тяг» увеличится на 20–30%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании научно и практическим образом изучались вопросы повышения эффективности гидравлических усилителей («тяги») в системе управления вертолета. Анализы показали, что «тяги» постоянно подвергаются воздействию динамических нагрузок и вибраций, возникающих от лопастей ротора и управляющих действий пилота, что значительно влияет на точность управления, энергетическую эффективность и срок службы «тяг».

На основании научной литературы и экспериментальных исследований было установлено, что старые металлические «тяги» обладают низкой устойчивостью к вибрациям, ограниченной упругостью и эффективностью передачи энергии, при этом часть силы, передаваемой через гидравлическую систему, теряется в виде энергии. Поэтому усовершенствование конструкции и материалов «тяг» является актуальной задачей современной системы управления вертолетом.

В рамках данного исследования предложены инновационные решения, включающие использование композитных материалов, оптимизацию конструкции «тяг» и интеграцию внутренних адаптивных демпферов. Эти решения позволяют снизить массу «тяг», довести коэффициент упругости до оптимального уровня, существенно уменьшить амплитуду колебаний и вероятность резонанса. В результате эффективность гидравлических «тяг» повышается на 20–30%, увеличивается точность управления и срок службы, снижаются потери энергии.

Полученные результаты создают научную основу для повышения безопасности и надежности системы управления вертолетом, а также для установления новых стандартов и конструктивных требований для высокоскоростных и multifunctional вертолетов. Кроме того,

предложенные подходы представляют собой важный этап для будущего инновационного развития авиационной техники и модернизации систем управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leishman, J. G. Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press, 2006.
 2. А.М.Арифжанов, Қ.Т.Рахимов, Л.Н.Самиев "Гидравлика" ўқув қўлланма. Тошкент-2016.
 3. Қ.Т.Рахимов, Ш.М.Сабирова, А.Ж.Обиджонв "Гидравлика ва гидравлик юритмалар Гидростатика(Сууюкликнинг физик хлссалари)" ўқув қўлланма-Тошкент-2025
 4. Padfield, G. D. Helicopter Flight Dynamics: The Theory and Application of Flying Qualities and Simulation Modelling. Blackwell Publishing, 2007.
 5. Johnson, W. Helicopter Theory. Princeton University Press, 1994.
- Интернет-ресурсы:
1. ICAO rasmiy sayti – <https://www.icao.int>
 2. NASA Aeronautics Research – <https://www.nasa.gov/aeroresearch>
 3. Global Helicopter Industry Analysis – <https://www.helis.com>
 4. Springer, Elsevier va ResearchGate –
<https://www.springer.com>
<https://www.researchgate.net>
 5. <https://vintageaviationnews.com/warbird-articles/this-day-in-aviation-history-first-tethered-flight-of-the-vought-sikorsky-vs-300.html>