



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 629.7.05(091)

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ EVOLUTION OF FLIGHT CONTROL SYSTEMS

Богачева Анна Александровна, студент, МГТУ им.Н.Э.Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. 8 (499) 263-6391, <https://orcid.org/0000-0002-4699-6750>, Potehina_anna01@mail.ru

Муштафин Ильяс Ильдарович, студент, МГТУ им.Н.Э.Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. 8 (499) 263-6391, <https://orcid.org/0000-0003-3980-9678>, ilyas.827@mail.ru

Anna B. Alexandrovna, student, BMSTU (105005, Moscow, ul. Baumanskaya 2-ya, 5/1, Russia), tel. 8 (499) 263-6391, <https://orcid.org/0000-0002-4699-6750>, Potehina_anna01@mail.ru

Ilyas M. Ildarovich, student, BMSTU (105005, Moscow, ul. Baumanskaya 2-ya, 5/1, Russia), tel. 8 (499) 263-6391, <https://orcid.org/0000-0003-3980-9678>, ilyas.827@mail.ru

Аннотация. Совершенствование систем управления полетами является важной задачей развития области авиастроения и развивалось экспоненциально в течение последних 100 лет. Требования к скорости и безопасности полетов,

особенно после преодоления звукового барьера в 1948 году, оказывали значительное влияние на задачи, возложенные на авиаконструкторов. В процессе развития отрасли изобретались всё более надежные адаптивные методы управления самолетами, повышающие безопасность и качество полетов. Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы рассмотреть ход развития систем управления авиасредствами по мере их развития в 20 веке.

Abstract. Improving flight control systems is an important development task in the field of aircraft engineering and has developed exponentially over the past 100 years. The requirements for speed and flight safety, especially after breaking the sound barrier in 1948, had a significant impact on the tasks assigned to aircraft designers. As the industry has developed, more and more reliable adaptive methods of aircraft control have been invented, improving the safety and quality of flights. The purpose of this article is to review the evolution of aircraft control systems as they evolved in the 20th century.

Ключевые слова: система управления полетами, воздушное судно, электродистанционная система управления, оптоволоконная передача команд, летательный аппарат, авиационная система.

Keywords: flight control system, aircraft, fly-by-wire control system, fly-by-light control system, aircraft, aviation system.

Рассмотрим процесс развития механических характеристик систем управления (СУ) летательных аппаратов [1]: например, [2] описывает процесс развития трехосевой системы управления вместе с результатами испытаний в аэродинамической трубе, которые авторы собирали для разработки систем, которые использовались в их самолетах. Хронология военного завода [3] излагает подробные данные по СУ всех военных самолетов, которые были на нем спроектированы.

Данные с этого источника позволяют наблюдать изменения конструкции во времени и позволяют достичь первоначального понимания того, как проектировался самолет в начале прошлого века. Концепция прорыва [4] была

первой, в которой описывается СУ креном, описанном на летательном аппарате Райта. Эта концепция послужила основным столпом при развитии концепции элеронов для самолетов [5].

Источник [6] иллюстрирует процесс того, как высокоскоростной бомбардировщик был спроектирован во время Второй мировой войны. Уникальная разработанная гидромеханическая система дает представление о различных способах, используемых в то время для улучшения систем управления полетом.

Другие источники [7, 8] показывают процесс введения новейших разработок в конструкции самолетов, например системы автопилота (хотя они все еще использовали аналоговую систему для работы с гидромеханической системой). Эти журналы впервые представили теорию о возможности использования автопилота.

Некоторые исследования [9] демонстрируют процесс развития СУ при сосредоточении внимания на гидромеханической СУ и на том, как она развивалась с течением времени.

Источник [10] дает историческую справку со ссылкой на стандартные СУ полетом всех поколений самолетов. Это один из основных источников, используемых для понимания систем привода третьего поколения; [11] оценивает характеристики различных поколений самолетов и подробно описывает эволюцию различных СУ самолетами. Этот труд разделил эволюцию авиационных систем на три поколения. Однако авторы сочли, что эта классификация недостаточна для определения каждой из важных вех развития систем управления полетом. Тем не менее, это дало четкое указание на прогресс технологии в направлении систем управления полетом Fly-By-Light [12, 13] (способ управления летательными аппаратами на основе оптоволоконной передачи команд).

Было задокументировано [14], что к 1960 году была разработана концепция электродистанционной СУ (ЭСУ), хотя прошло еще 10 лет, прежде чем она нашла свое применение. Concorde был первым коммерческим

авиалайнером, который использовал эту систему, будучи запущенным в коммерческую эксплуатацию в 1969 году.

После совершенствования системы ЭСУ в течение 4 лет, первым самолетом, который полетел при использовании этой технологии был F-16, источник [15] дал исчерпывающее объяснение по развитию данного нововведения.

Как упоминалось ранее, Fly-By-Light должен был стать следующей крупной системой управления полетом, [16] был работой, которая первоначально дала наиболее полную информацию об этой технологии. В этой статье подробно рассматривается технология Fly-By-Light в различных приложениях, а также о ее применении в самолетах.

Хотя было много дискуссий вокруг использования технологии Fly-By-Light в самолетах, в настоящее время не производят коммерческих самолетов с использованием этой технологии: в работе [17] отмечаются технические особенности используемой системы, проведенный испытательный полет.

Современные решения для контроля и мониторинга СУ самолётом – сложный программно-аппаратный комплекс. Стоя перед проблемой эффективности управления процессом разработки, менеджмент, стараясь следовать оптимизации параметров затрат и качества проекта, порождает информационный и организационный дефицит.

Это связано, в первую очередь, с высокой стоимостью специалистов и\или их обучением в области авиационного ПО, т.е. с персоналом, т.к. зачастую в крупных проектах его численность может достигать порядка 2-3 тысяч человек на одну только СУ (не говоря о динамической модели и физическом исполнении планера, а тем более всего изделия).

Во вторую очередь — с организацией связи и подачей информации, её синхронизацией между участниками разработки, а также ограничения на чрезмерно большие количества данных, проходящих через тот или иной уровень управления.

Поэтому для разработки подобных систем утверждён особый, тщательно задокументированный и регламентированный технический процесс разработки требований, создания аппаратной и программной части, выполнения и отладки системы, а также её тестирования и составления сертификационной документации. Тем не менее, процесс постоянно модифицируется и совершенствуется, исходя из реалий проекта и из картины окружающего мира.

Что же касается гигантских объемов работ, время, отведённое на разработку относительно простой системы (система рулёжки и выпуска шасси) — 1,5-2 года, для систем управления поверхностями (электрическими актуаторами и гидросистемами) составляет 5-6 лет.

Из-за чрезвычайной сложности и громоздкости как систем отчёта, так и рутины тестирования, для работы часто привлекаются ресурсы аутсорса в Индии, чуть реже — в Китае, восточной Европе. Вся сертификация, как правило, проходит на территории, где действителен сертификат (для EASA – Европа, для FAA — Америка), для российских стандартов — Россия.

Оборудование сертифицируется отдельно, либо уже должно иметь свой сертификат, поэтому в настоящий момент в авиации используются относительно «устаревшие» модели и решения, проверенные в температурных, временных и агрессивных условиях эксплуатации.

Выводы:

СУ полетом являются основными методами, которые используют различные механизмы для управления воздушным судном во время выполнения последним различных видов деятельности, их постепенное неуклонное развитие ведет к улучшению маневренности, точности передвижения, позволяют обезопасить процесс перелета.

Литература

1. D. Padfield. (2003). The birth of flight control: An engineering analysis of the Wright brothers' 1902 glider. The Aeronautical Journal. 1 (2854), 697-718.

2. Staff Writer. (2014). Aircraft Timeline of Flight. Available: <http://www.militaryfactory.com/aircraft/aircraft-timeline.asp>. Last accessed 9th Nov 2014.
3. Smithsonian. (2014). The Breakthrough concept. Available: <http://airandspace.si.edu/exhibitions/wright-brothers/online/fly/1899/breakthrough.cfm>. Last accessed 9th Nov 2014.
4. Smithsonian. (2014). 1909 Wright Military Flyer. Available: http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?object=nasm_A19120001000. Last accessed 9th Nov 2014.
5. Gordon, Y (2004). Early Soviet Jet Bombers. Midland: Mid-land Publishing.
6. PilotFriend. (2000). primary flight controls. Available: http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/fxd_wing/primary.htm. Last accessed 28th Oct 2014.
7. Samsonenko D.M., Khudoyarov V.A., Barbashov N.N., Abdullina L.R., Potapov D.M., Research of influence of errors of cam manufacturing on the law of motion of output element // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 862, Mechanical and Automation Engineering for Industry, 2020.
8. Barbashov N.N., Samoilova M.V., Abdullina L.R., Selection of rational algorithms for controlling high-precision details, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1889, Instrumentation Technologies and Environmental Engineering, 2021
9. Sweet haven. (2008). Lesson 2. BASIC CON-STRUCTION AND OPERATION OF HYDRAULIC. 1 (1), P2-5.
10. Schmitt, Vernon R, Morris, James W, Jenney, Gavin D (1998). Fly-by-wire: a historical and design perspective. United States: SAE International. p9-11.
11. SKYbrary. (2013). Fly-By-Wire. Available: <http://www.skybrary.aero/index.php/Fly-By-Wire>. Last accessed 19th Nov 2014.
12. Pakmehr, M. (2014). A Review of Fiber Optic Networks for Turbine Engine Instrumentation Channel: Control, PHM, and Test Cell Applications. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1 (1), p1-2, 8, 10, 14.

13. Deagel. (2008). Gulfstream Demonstrates Fly-By-Light Aircraft Control System. Available: http://www.deagel.com/news/Gulfstream-Demonstrates-Fly-By-Light-Aircraft-Control-System_n000003886.aspx. Last accessed 8th Nov 2014.
14. FERRY, J. W. (2010). THRUST MEASUREMENT OF DIE-LECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA. MISSOURI, USA: MISSOURI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY.
15. LAZAR, E. S. (2011). DISSERTATION. FUNDAMENTAL PHYSICS AND APPLICATION OF PLASMA ACTUATORS FOR HIGH-SPEED FLOWS. Urbana, Illinois, USA: University of Illinois at Urbana- Champaign.
16. Touchard, G. (2008). Plasma actuators for aeronautics applications - State of art review- . France: Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Boulevard Marie et Pierre Curie.
17. Barbashov, N N; Abdullina, L R; Ilyushkov, I N; Bolotov, I E. The use of the planetary differential in the mechanisms of energy recovery // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering; Bristol, 862 (May 2020). DOI:10.1088/1757-899X/862/3/032047

References

1. D. Padfield. (2003). The birth of flight control: An engineering analysis of the Wright brothers' 1902 glider. The Aeronautical Journal. 1 (2854), 697-718.
2. Staff Writer. (2014). Aircraft Timeline of Flight. Available: <http://www.militaryfactory.com/aircraft/aircraft-timeline.asp>. Last accessed 9th Nov 2014.
3. Smithsonian. (2014). The Breakthrough concept. Available: <http://airandspace.si.edu/exhibitions/wright-brothers/online/fly/1899/breakthrough.cfm>. Last accessed 9th Nov 2014.
4. Smithsonian. (2014). 1909 Wright Military Flyer. Available: http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?object=nasm_A19120001000. Last accessed 9th Nov 2014.
5. Gordon, Y (2004). Early Soviet Jet Bombers. Midland: Mid-land Publishing.

6. PilotFriend. (2000). primary flight controls. Available: http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/fxd_wing/primary.htm. Last accessed 28th Oct 2014.
7. Samsonenko D.M., Khudoyarov V.A., Barbashov N.N., Abdullina L.R., Potapov D.M., Research of influence of errors of cam manufacturing on the law of motion of output element // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 862, Mechanical and Automation Engineering for Industry, 2020.
8. Barbashov N.N., Samoilova M.V., Abdullina L.R., Selection of rational algorithms for controlling high-precision details, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1889, Instrumentation Technologies and Environmental Engineering, 2021
9. Sweet haven. (2008). Lesson 2. BASIC CON-STRUCTION AND OPERATION OF HYDRAULIC. 1 (1), P2-5.
10. Schmitt, Vernon R, Morris, James W, Jenney, Gavin D (1998). Fly-by-wire: a historical and design perspective. United States: SAE International. p9-11.
11. SKYbrary. (2013). Fly-By-Wire. Available: <http://www.skybrary.aero/index.php/Fly-By-Wire>. Last accessed 19th Nov 2014.
12. Pakmehr, M. (2014). A Review of Fiber Optic Networks for Turbine Engine Instrumentation Channel: Control, PHM, and Test Cell Applications. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1 (1), p1-2, 8, 10, 14.
13. Deagel. (2008). Gulfstream Demonstrates Fly-By-Light Aircraft Control System. Available: http://www.deagel.com/news/Gulfstream-Demonstrates-Fly-By-Light-Aircraft-Control-System_n000003886.aspx. Last accessed 8th Nov 2014.
14. FERRY, J. W. (2010). THRUST MEASUREMENT OF DIE-LECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA. MISSOURI , USA: MISSOURI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY.
15. LAZAR, E. S. (2011). DISSERTATION. FUNDAMENTAL PHYSICS AND APPLICATION OF PLASMA ACTUA-TORS FOR HIGH-SPEED FLOWS. Urbana, Illinois, USA: University of Illinois at Urbana- Champaign.

16. Touchard, G. (2008). Plasma actuators for aeronautics applications - State of art review. France: Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Boulevard Marie et Pierre Curie.
17. Barbashov, N N; Abdullina, L R; Ilyushkov, I N; Bolotov, I E. The use of the planetary differential in the mechanisms of energy recovery // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering; Bristol, 862 (May 2020). DOI:10.1088/1757-899X/862/3/032047

© Богачева А.А., Мустафин И.И., 2022 Научный сетевой журнал «Столтыпинский вестник» №8/2022.

Для цитирования: Богачева А.А., Мустафин И.И. ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ // Научный сетевой журнал «Столтыпинский вестник» №8/2022.