УДК 629.7:681.5

О. С. Лиходєєв, І. Р. Нестерчук

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ НА МАЛИХ ВИСОТАХ ФРОНТОВОГО БОМБАРДУВАЛЬНИКА

Анотація. *Доповідь присвячена аналізу режимів роботи системи автоматичного керування САУ-6М1 у контексті підвищення рівня автоматизації керування польотом на малих висотах фронтового бомбардувальника. Досліджено структуру трьохканальної системи керування по осях Mx, My, Mz та особливості режимів демпфування, стабілізації кутового положення, маловисотного польоту, приведення до горизонту і стабілізації барометричної висоти. Проаналізовано закони керування, умови активації режимів та їхні функціональні обмеження, зокрема недостатній рівень автоматизації маловисотного польоту.*

Ключові слова: *система автоматичного керування, маловисотний політ, фронтовий бомбардувальник, автоматизація керування, демпфування.*

Abstract: *The paper is devoted to the analysis of the operating modes of the SAU-6M1 automatic control system in the context of increasing the level of automation of flight control at low altitudes of a frontline bomber. The structure of the three-channel control system along the Mx, My, and Mz axes and the peculiarities of the damping, angular position stabilization, low-altitude flight, horizon recovery, and barometric altitude stabilization modes have been studied. The control laws, conditions of mode activation, and their functional limitations have been analyzed, in particular the insufficient level of automation of low-altitude flight.*

Keywords: *automatic control system, low-altitude flight, frontline bomber, control automation, damping.*

Сучасні умови ведення бойових дій висувають до фронтової бомбардувальної авіації особливі вимоги, серед яких чільне місце посідає здатність виконувати тривалий політ на гранично малих висотах з обходом рельєфу місцевості та перешкод у режимі реального часу. Такий політ супроводжується підвищеним навантаженням на пілота, обмеженим часом на прийняття рішення та високим ризиком втрати просторової орієнтації, що зумовлює необхідність максимальної автоматизації відповідних контурів керування. Система автоматичного керування САУ-6М1, що розглядається в дослідженні, є трьохканальною системою керування по осях Mx, My, Mz із застосуванням електрогідравлічних рульових машин КАУ-125 та РМ-130, однак її функціональні можливості в режимі маловисотного польоту значною мірою залежать від участі пілота в контурі керування [1-5]. Метою дослідження є аналіз особливостей режимів роботи САУ-6М1, насамперед маловисотного польоту, з метою розробки пропозицій щодо підвищення рівня автоматизації керування процесом польоту на малих висотах фронтового бомбардувальника.

Система САУ-6М1 реалізує керування по трьох осях [2,3]. У каналах крену та тангажа застосовуються рульові машини КАУ-125 і РМ-130, канал рискання обслуговується РМ-130. КАУ-125 підключається послідовно на режимах демпфування та паралельно на автоматичних режимах. РМ-130 у каналах крену і тангажа підключені диференційним способом і виконують резервування, активуючись автоматично, зокрема, у режимі виведення з небезпечної висоти та в режимі маловисотного польоту під час зниження до 120–140 метрів.

Базовим режимом є демпфування «ДЕМПФЕР», який активується кнопкою-лампою на пульті, а в сучасних системах – автоматично після подачі живлення або передпольотного контролю [2, 3]. Режим автоматично відновлюється при відключенні будь-якого автоматичного режиму або коли пілот бере керування на себе. Демпфер реалізує пропорційний закон за сигналом кутової швидкості, коректованим за висотою та швидкістю, завдяки чому пілот сприймає його дію як покращення аеродинамічного демпфірування. Водночас для важких транспортних літаків корекція передавальних коефіцієнтів за висотою і швидкістю не передбачається, що для фронтового бомбардувальника є суттєвим обмеженням.

Підрежим «Узгодження» запускається після активації автоматичної захисної системи та фіксує просторове положення літака на запам’ятовуючих конденсаторах, що забезпечує плавне

включення сервоприводів. Режим «Стабілізація» підтримує курс, тангаж і швидкість, причому стабілізація кута тангажа реалізується з ізодромним включенням сигналу, що забезпечує астатичну стабілізацію при постійних збуреннях, а стабілізація крену – з аналогічним введенням сигналу з більшою часовою константою [2, 3]. Демпфери й автомати регулювання не розв'язують повною мірою задачу покращення динамічних характеристик, оскільки компенсують лише недостатнє аеродинамічне демпфірування. Існує суперечність між стійкістю та керованістю: підвищення статичної стійкості полегшує стабілізацію траєкторії, але для керованості бажано дещо її знизити, тому оптимальний рівень підтримується автоматами стійкості. Для літаків зі стрілоподібним крилом доцільно знижувати поперечну стійкість.

Центральне місце посідає режим маловисотного польоту для обльоту перешкод у вертикальній площині з різницею висот до 2000 м та схилами до 30°. Він базується на кількох підрежимах із різним рівнем автоматизації [2,3]. Напівавтоматичний режим без участі САК передбачає повністю ручне керування. Основний режим МВ формує сигнал на основі даних радіовисотоміра, а режим РВ забезпечує керування директорною стрілкою виключно за сигналами радіовисотоміра. Автоматичний режим повністю звільняє пілота від керування, проте ефективний лише у стабільних умовах. Комбінований режим передбачає роботу лише контурів демпфірування, тоді як траєкторні контури працюють у директорному режимі, що зберігає за пілотом можливість втручання. Таким чином, навіть у найбільш автоматизованих підрежимах зберігається суттєва роль пілота, що обмежує рівень автоматизації польоту на малих висотах.

Закони керування формуються блоками БМВ-49 і БКУ-68 через контур перевантаження, що забезпечує адаптацію до умов польоту та обминання перешкод. Активація режиму «РВ» потребує послідовного виконання низки умов: сигналу про випромінювання, дозволу від РПС, підтвердження надійності його роботи, команди на керування за даними радіовисотоміра та дозволу самого радіовисотоміра [4, 5]. До складу маловисотного контуру входять РПС, радіовисотомір РВ-21, інерційна система МИС-П, система повітряних сигналів і засоби індикації. Керуючі впливи формуються як алгебраїчний максимум зі складових законів: на підйом проходить більший із сигналів, а на спуск – менший. Антена РПС стежить за точкою на земній поверхні попередженої дальності, обчислюється розрахунковий кут візування, і за відхиленням фактичного кута від заданого формується сигнал помилки, який виробляє команду на набір висоти. Після появи вершини перешкоди РПС супроводжує її до певної дальності, після чого скидає та шукає нову, а літак виконує обліт по круговій траєкторії з подальшим спуском. Сигнал автоматичного відведення з небезпечної висоти видається у разі відмови РПС, РВ, МИС-П або блоку літакових систем, при зменшенні висоти до 130 м, а також при сигналі помилки по куту відхилення антени понад 4° на підйом. За цим сигналом РМ-130 примусово переводять літак у режим набору висоти з одночасним приведенням по крену.

Режим приведення до горизонту активується у випадках втрати пілотом просторової орієнтації та поєднує стабілізацію нульового кута крену з подальшою активацією стабілізації курсу, а в каналі руля висоти – стабілізацію кута тангажа горизонтального польоту з наступною активацією стабілізації барометричної висоти [4, 5]. Затримки активації каналів дозволяють усунути невизначеність кута крену при перевернутому польоті та врахувати можливе перерегулювання під час виходу на стабільну висоту. Режим стабілізації барометричної висоти забезпечує автоматичне підтримання заданої висоти над рівнем моря на основі даних барометричного датчика, причому керування може здійснюватися як через контур кута тангажа, так і через контур нормального перевантаження, який є більш ефективним завдяки швидшій реакції та кращій компенсації вітрових збурень. На точність вимірювань висоти впливають температура, вологість повітря та зміни атмосферного тиску, спричинені погодними умовами, що необхідно враховувати під час удосконалення алгоритмів.

За результатами дослідження можливо зробити наступні висновки:

1. Система САУ-6М1 забезпечує реалізацію режимів демпфування, стабілізації кутового положення, маловисотного польоту, приведення до горизонту та стабілізації барометричної висоти, проте рівень автоматизації польоту на малих висотах залишається недостатнім для фронтового бомбардувальника.
2. Режим маловисотного польоту реалізується через низку підрежимів, у більшості з яких зберігається суттєва роль пілота в контурі керування, що обмежує можливості виконання тривалого польоту на гранично малих висотах.

3. Існуючі закони керування демпфування не передбачають повноцінної корекції передавальних коефіцієнтів за висотою та швидкістю польоту, що знижує ефективність системи в умовах інтенсивних зовнішніх збурень.

4. Обмеженням є значна кількість послідовних умов активації режиму «РВ», що ускладнює оперативне перемикання та підвищує навантаження на пілота.

5. Доцільним напрямом підвищення рівня автоматизації є розширення функціональності автоматичного режиму маловисотного польоту та зменшення кількості умов, необхідних для його активації.

6. Перспективним є вдосконалення контурів демпфірування шляхом уведення адаптивної корекції за висотою і швидкістю польоту, а також удосконалення алгоритмів комплексування даних радіовисотоміра та інерційної системи.

7. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку пропозицій щодо інтеграції контурів маловисотного польоту з режимами приведення до горизонту та стабілізації висоти з метою створення єдиного автоматизованого контуру керування польотом на малих висотах.

Список використаних джерел:

1. Кулага А. М. Бойові літальні апарати. Літак Су-24. XI ВПС. Харків, 2003.
2. Система автоматичного управління САУ-6. Технічний опис 6СІ.600.042ТО2. В 4-х ч. Ч.3. 1978.
3. Технічний опис №6М. Кн. 4, Авіаційне обладнання. Ч. 1, 2, 3. 1986.
4. Система автоматичного управління САУ-6М1. Керівництво з технічної експлуатації 6С1.600.410РЭ. В 4 кн. Кн. 1. 1978.
5. Інструкція з експлуатації №6М. Кн. 4, Авіаційне обладнання. Ч. 1, 2. 1986.

Лиходєєв Олександр Сергійович *– кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Нестерчук Іван Русланович *– здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: ivannecterchuk19@gmail.com.*

Lykhodieiev Oleksandr Serhiiovych *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Aviation Engineering Faculty, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: lihas2201@gmail.com ORCID https://orcid.org/ 0009-0009-9509-2940.*

Nesterchuk Ivan Ruslanovych *– Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: ivannecterchuk19@gmail.com.*