

УДК 621.22-56:629.11.012.813

М.О. Руденко, І.В. Ночніченко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Реінжиніринг гідропневматичного амортизатора стійки літака

На сьогоднішній день в будь-якому повітряному судні цивільної авіації відбуваються, так звані – вібраційні або коливні процеси, які виникають під час ударів об землю при посадці та при русі літака по нерівностям аеродрому, що сприймаються елементами шасі літака. Шасі літака призначене для пересування по землі на зльоті, посадці і рулінні по аеродрому, поглинання кінетичної енергії удару літака об землю і енергії гальмування на пробігу та забезпечення стоянки літака. Робота амортизаційної системи літака ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії в інші види енергії, здебільшого в теплову [1-8]. Тому зовнішні і внутрішні умови експлуатації істотно впливають на планову характеристику амортизатора. Зміна характеристик амортизатора, наприклад зміна температури істотно впливають на зусилля опору демпфування (при зниженні температури зусилля опору підвищується та погіршується ефективність амортизації лобових ударів), що призводить до передачі динамічних навантажень на фюзеляж та виникнення автоколивань. Іншим недоліком газогідравлічних амортизаторів є згин штоку під дією поперечних навантажень (лобових і бічних сил). Вигин штока збільшує сили тертя і несиметрично навантажує ущільнювальну манжету, що призводить до швидкого зносу ущільнення і обмежує значення тиску зарядки амортизатора та аварійних випадків.

Амортизатор стійки літака є закритою (ізолюваною) системою яка не дає здебільшого можливості змінювати у ній робочу характеристику, тоді як робочі характеристики АС борта досить сильно залежать від температури навколишнього середовища умови якого досить істотно змінюються на протязі повного переміщення літака починаючи від виїзду зі стоянки і аж до заїзду до неї після здійснення рейсу. Температура робочої рідини амортизатора в залежності від цих навколишніх, експлуатаційних, умов, може змінюватися від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+110^{\circ}\text{C}$  і досить швидко оскільки при зльоті або посадці, висота - миттєво змінюється а з нею відповідно і температура в цілому [9-12].

Амортизаційна система (АС) є невід’ємною частиною літака яка складається з амортизаторів, рухомих частин стійок шасі та пневмошин. Її задача – поглинання та розсіювання енергії руху вертикальних складових в момент посадки судна а також демпфування навантажень, викликаних нерівностями ЗПС при пересуванні по ній судна, в таких моментах як: зліт, посадка, пересуванні по аеродрому.

Найбільших зусиль АС літака зазнає – в момент посадки (першочерговому ударі), тоді як вертикальна складова кінетичної енергії судна:

$$E_y = mV_y^2 / 2,$$

Визначає максимальну роботу його амортизаторів, за законом збереження ця енергія:

$$A_y = E_y = Ps\eta,$$

де  $P$  – максимальна сила удару вертикальних складових літака при посадці,  $s$  – шлях цієї сили,  $\eta$  – ККД системи що враховує зменшення сили на шток  $P$  при зменшенні гасіння (вертикальної швидкості) АС літака.

345

Тож недостатньо продуктивна АС досить шкідливо впливатиме на судно, особливо в цей же момент посадки коли усі ці шкідливі сили вертикальних складових передаються на конструкцію літака, що є неприпустимим.

На рис. 1 зображено наглядну схему роботи демпфера: Сила  $P$  отримана від ЗПС котра прикладена до штока 1, викликає поступальний рух поршня 2 всередині гідроциліндра 3, заповненого робочою рідиною(мастилом) та рухомо закріпленого до опори 4. При прямому ході мастило, витісняється з порожнини 5 в порожнину гідроциліндра 7, проходячи при цьому через калібровані отвори (дроселі). Робота сили  $P$  яка спричиняє рух рідини трансформується в роботу долання сил гідравлічного опору при протіканні через ці ж калібровані отвори та тертя викликаного в робочій рідині. Зі збільшенням швидкості руху рідини та зменшенні прохідного перерізу отворів, опір відповідно зростає що спричиняє перетворення енергії тертя частинок одна об одну та об стінки дросельних елементів в енергію тепла тим самим підвищуючи температуру самого демпфера, після чого отримане тепло, через стінки демпфера, повністю

розсіюється в просторі, залишаючи нормальну для подальшої роботи, температуру в системі.

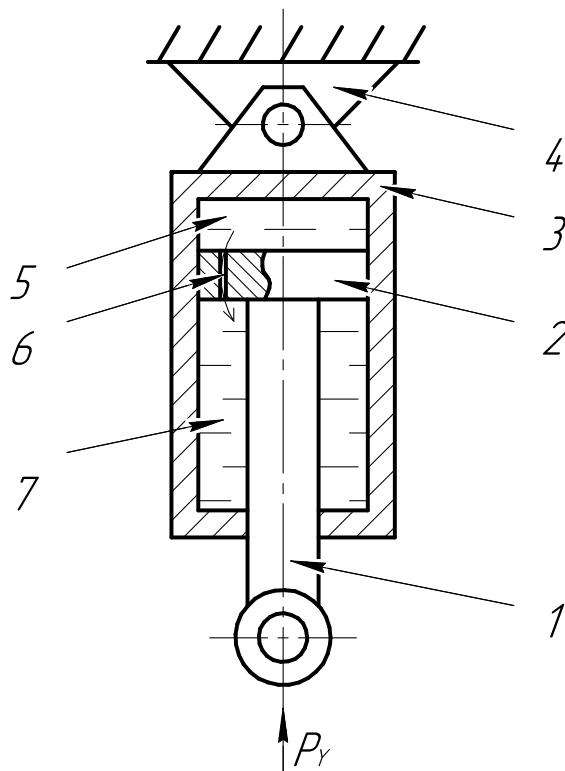


Рис. 1. Схема гідравлічного демпфера

Проте даний рідинний демпфер при повному поглинанні кінетичної енергії перетвориться на нерухому конструкцію (шток повністю втягнеться) що відобразиться на конструкції літака, що є досить шкідливим. Тож для цього в конструкцію АС літака влаштовано дві камери і робочим ресурсом служить не тільки рідина, а й газ який надає можливість штоку безперервно та стабільно поглинати та повертатися у вихідне положення, після кожної отриманої вертикальної сили, тим самим забезпечивши аналогічну роботу АС на весь, заданий, експлуатаційний період. Схематична будова АС літака зображена на рис. 2.

Амортизатор стійки літака реалізований наступним чином: шток 11 рухається в осьовому напрямку циліндра (корпусу) 8, рівнонапрявлений осьовий рух поршня по гільзі забезпечується верхньою буксою 6 та нижньою 13, верхня букса нерухомо спряжена зі штоком 11 і має в собі калібровані отвори 7, нижня букса кріпиться до днища циліндра 8. До нижнього кінця штока 11 кріпиться опорний пристрій (колесо), а циліндр 8 кріпиться до конструкції літака та

нерухомо з'єднаний з плунжером 1 у стінках якого є ряд дроселів 2, а на днищі у денці 9 розташований калібрований отвір 10.

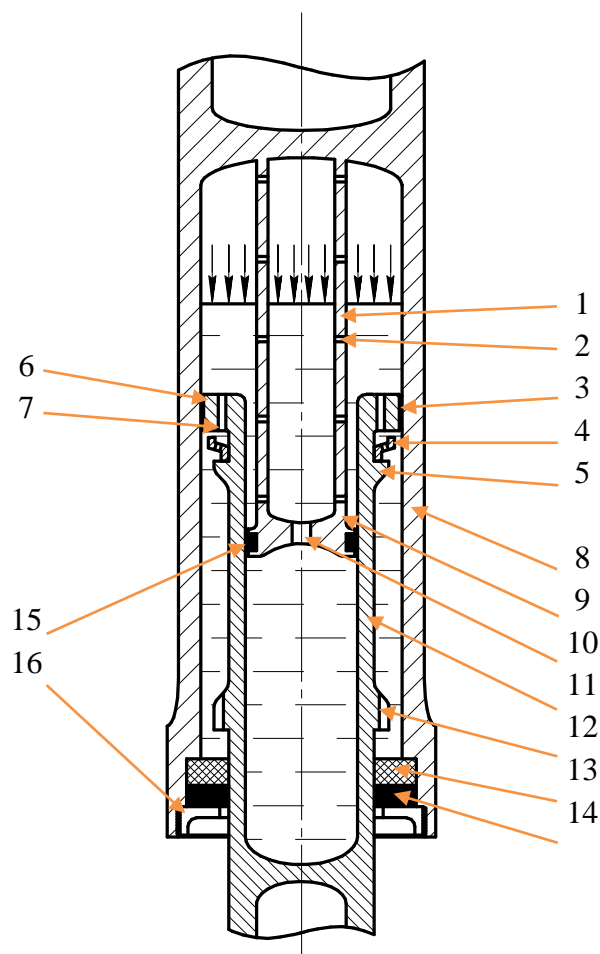


Рис. 2. Схематична будова рідинно-газового АС стійки літака

Порожнину циліндра заповнюють необхідною кількістю робочої рідини та заряджають робочим газом до визначеного тиску, клапан гальмування зворотного ходу 4 утримується опорою 5, упори 12 нерухомо закріплені на штоку 11, опираючись об нижню буксу 13 вони запобігають стиснутому газу витиснути шток 11 з порожнини циліндра 8 при відсутності зовнішнього навантаження на шток, ущільнення 3 забезпечує герметичне телескопічне з'єднання верхньої букси 6 з циліндром 8, ущільнення 15 – телескопічне з'єднання плунжера 1 зі штоком 11, а ущільнення 14 – телескопічне з'єднання штока 11 з циліндром 8. Кришка 16 фіксує внутрішні елементи циліндра та забезпечує ізолюваність (закритість) конструкції амортизатора.

Схема роботи рідинно-газового амортизатора наведено на рис. 3.

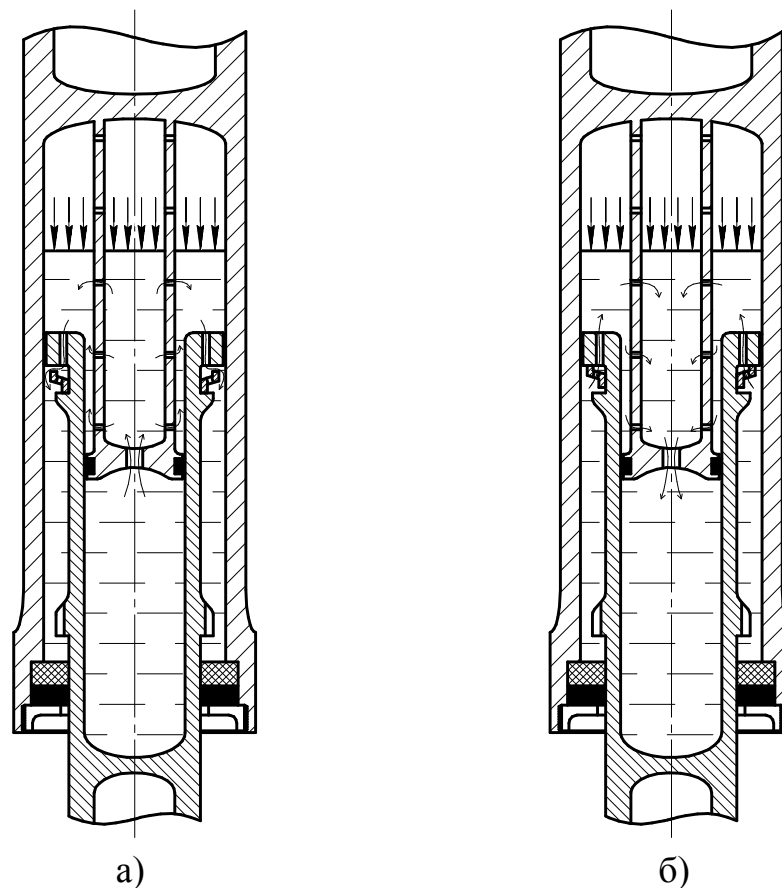


Рис. 3. Схема роботи рідинно-газового АС стійки літака:

а) прямий хід; б) зворотній хід

348

В залежності від прямого а) або зворотнього б) ходу штока відносно циліндра – протилежно змінюється напрямок руху рідини крізь калібровані отвори, цей рух позначено умовними стрілками. Масив стрілок над площиною розділу агрегатних станів – показують напрям дії стиснутого газу на робочу рідину. Уся циркуляція рідини та газу відбувається в межах внутрішніх порожнин корпусу (циліндра) в сталому (незмінному) об’ємі, визначеним конструктивним рішенням.

Зі збільшенням довжини ходу  $s$  штока – забезпечується більш прийнятне навантаження на конструкцію літака :

$$P_n = E_y / s\eta.$$

На рис. 4 зображено умовну залежність зміни тиску робочої рідини (мастила) та газу, від температури. На ньому видно – наскільки температура навколишніх умов впливає на внутрішні параметри АС, тим самим зменшуючи його максимально спроможну продуктивність зі збільшенням відхилення

температури від ідеальної (яка забезпечує найкращі вихідні показники амортизатора).

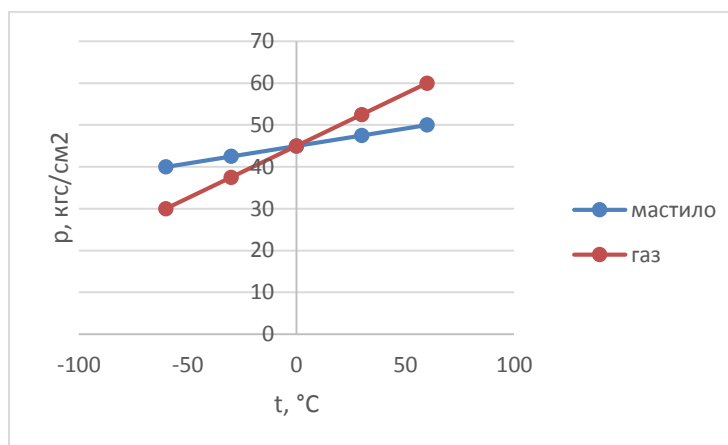


Рис. 4. Графік залежності тисків в газовій та масляній порожнинах від температури t

Аналізуючи усе вищенаведене - впливає що робота АС літака є досить не ефективною. Особливо найбільшої шкоди судно зазнає при посадці оскільки буквально перед цим воно було на значній висоті, що говорить про утримування досить низьких температур в самому АС в момент посадки, а саме торкання коліс шасі об ЗПС аеродрому, коли стан АС має бути найбільш стабільним та ефективним.

Аби вирішити дану проблему і відповідно підтримувати максимальну продуктивність АС незалежно від умов навколишнього середовища, пропонується - перетворити закритий (ізолюваний) амортизатор на такий, щоби можна було змінювати його параметри і при цьому в будь-який момент, тобто зробити його керованим. А сам контроль, пропонується здійснювати та підтримувати в автоматичному режимі під дією контролера який розміщуватиметься на тому ж борту судна.

Ідеї щодо модернізації АС літака є наступними:

1. З'єднати газову камеру амортизатора з насосом через пневмопривід під'єднавши усе необхідне до контролера. Таким чином тиск в газовій камері АС контролюватиметься контролером і триматиметься на постійному (заданому) рівні, тим самим напряду підтримуючи заданий тиск і в гідравлічній частині.

2. З'єднати масляну камеру з насосом через гідропривід під'єднавши усе до контролера, підтримуючи заданий тиск в ній.

3. Інтегрувати профільовані керовані диски на орбітах каліброваних отворів (дроселів) через які здійснюється основна робота автоколивань. Це зробить дроселі керованими завдяки чому керуватиметься витрата мастила через них і слід за ним інші параметри зусилля опору на шоку.

4. Інтегрувати кожух-сітку в каркас амортизатора, що дасть можливість підтримувати постійну температуру в системі незалежно від умов навколишнього середовища.

5. Використання різних типів оливо та основ за їхніми реологічними властивостями в залежності від необхідних характеристик для здійснення даного рейсу.

6. Інтегрування додаткового гідроциліндра з виходом штока в газову камеру АС що дасть можливість керувати тиском в даній камері тим самим керуючи загальними параметрами амортизатора без облаштування для цього спеціальних систем пневмоприводів та пневмонасоса.

7. Створення спеціального технологічного рішення задля компонування дроселюючих компонентів зі спеціальних металів (нітінол, біметал) які в залежності від умов навколишнього середовища - будуть сприяти необхідному температурному розширенню цих компонентів, що напряду корегуватиме необхідну витрату в них та максимальну продуктивність та стабільність АС без участі додаткових систем приводів та контролю.

Для вирішення даної проблеми і тим самим удосконалення системи в цілому представлено не мало ідейних рішень, серед яких найбільш доцільним та продуктивним на мій погляд є перший варіант: з'єднати газову порожнину амортизатора з насосом через пневмопривід під'єднавши усе необхідне до контролера. Таким чином тиск в газовій порожнині АС контролюватиметься контролером та підтримуватиметься на постійному (заданому) наперед рівні, тим самим напряду підтримуючи задовільний тиск в гідравлічній порожнині де відбувається основна робоча характеристика «гістерезису».

Принципову схему системи яка підтримуватиме заданий програмою тиск в амортизаторі літака, зображено на рис. 5

Дана установка представляє собою комбіноване рішення пневмо- та гідросистем.

Робочий газ, що подається в газову порожнину амортизатора набуває руху за рахунок перетворення енергії руху рідини в енергію руху газу, яка в свою

чергу постачається через гідропривід від магістрального живлення загальних гідросистем борта судна.

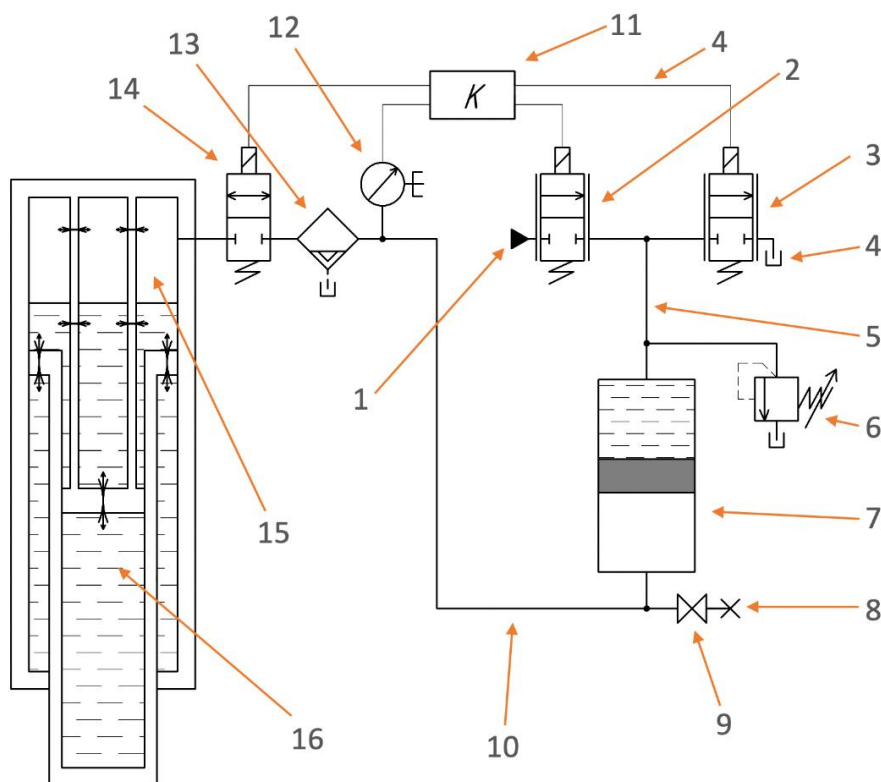


Рис. 5. Принципова схема системи яка підтримуватиме заданий тиск в амортизаторі літака

Таке облаштування робочих органів, а саме джерела живлення, дає можливість зменшити габарити самої системи, в порівнянні з облаштуванням системи як самостійну, незалежну від інших. А окремо відведений контролер відповідатиме за успішне керування пневмогідросистемою в автоматичному або напівавтоматичному режимах. Облаштування компонентів системи контролю наведено на рис. 6.

Головні складові компоненти облаштування загальної системи підтримки заданого тиску в камері АС:

- 1 – джерело гідравлічного живлення, під'єднане до загальної магістралі гідравлічного нагнітання (живлення) борта;
- 2 – двох-лінійний, двох-позиційний, моностабільний гідророзподільник з електромагнітним пропорційним керуванням;
- 3 – двох-лінійний, двох-позиційний, моностабільний гідророзподільник з електромагнітним пропорційним керуванням;



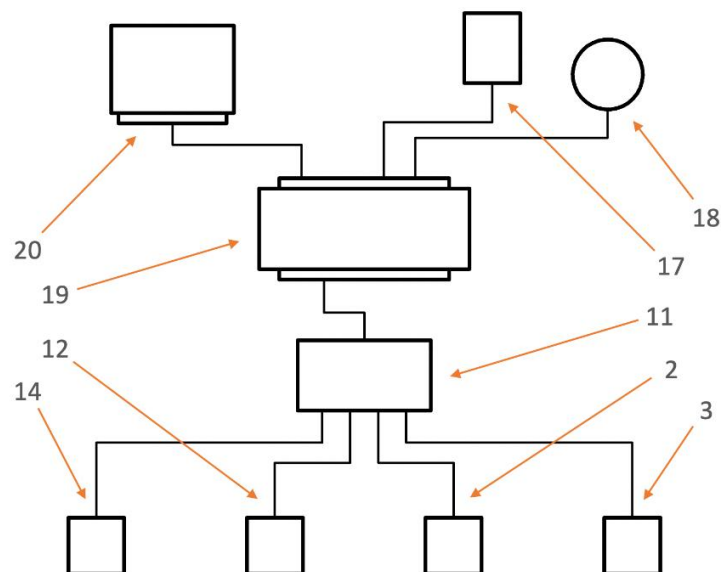


Рис. 6. Основні компоненти системи контролю та їх підлеглих

4 – кабельні з'єднання, які служать для передачі електричних сигналів, забезпечивши надійний контроль даної системи;

5 – трубопроводи через які здійснюється рух робочої рідини;

6 – запобіжний клапан, гідравлічний, керований;

7 – циліндр з поршнем, призначений для перетворення енергії руху рідини в енергію газу;

8 – штекерне з'єднання, призначене для підключення удаленого пристрою для зарядки або розрядки рівня газового тиску в пневмолінії;

9 – вентиль, служить для перекриття руху газу крізь штекерне зєднання під час його з'єднання з окремою апаратурою для зміни тиску;

10 – трубопроводи через які здійснюється рух робочого газу;

11 – спеціалізований контролер;

12 – електроконтактний манометр;

13 – відділювач рідини з автоматичним відводом мастила;

14 – двох-лінійний, двох-позиційний, моностабільний пневморозподільник з електромагнітним пропорційним керуванням;

15 – газова порожнина амортизатора, заповнена робочим газом;

16 – гідравлічна порожнина амортизатора, заповнена робочою рідиною;

17 – датчик відкриття/закриття шасі;

18 – гіроскоп, датчик трьохосьової орієнтації;

19 – бортовий комп'ютер, основний;

20 – панель керування системами.

Принцип роботи сукупної системи закладається в наступному: літак, одразу після повного опущення шасі, що фіксується датчиком 17, передає певний сигнал бортовому комп'ютеру 19, після чого цей бортовий комп'ютер аналізує сигнал з гіроскопа (датчика орієнтації) 18, це необхідно для аналізу орієнтації судна відносно горизонтальної площини, аби не допустити потрапляння робочої рідини в пневмолінію виконавчої системи, при надмірній зміні орієнтації амортизатора. Обробка сигналу з гіроскопа виконується постійно коли шасі опущені задля постійного контролю. При отриманні необхідного сигналу про задовільне положення АС, бортовий комп'ютер 19 надсилає сигнал персональному контролеру 11, який безпосередньо відповідає за контроль над пристроями пневмогідролічної системи, контролю тиску в амортизаторах, з метою - з'єднати газову порожнину 15 амортизатора з пневмолінією 10.

Контролер 11, отримавши цей сигнал активації – надсилає свій перший сигнал розподільнику 14 з електромагнітним керуванням, через кабельне з'єднання 4. Відповідно, розподільник - пересуває свій золотник в супротив дії пружини тим самим відкриваючи прохідний переріз пневмолінії сполучивши газову камеру 15 амортизатора, з пневмолінією 10, пневмогідропривода, після чого тиски обох об'ємів - миттєво врівноважуються, в слід за чим в дію вступає електроконтактний манометр 12, який контролеру 11 - постійно надсилає сигнал про наявний тиск в газовій порожнині 15 амортизатора, а контролер 11 відповідно аналізує його.

Якщо даний сигнал (тиск) відповідає нижче задовільному – контролер надсилає виконавчий сигнал пропорційному розподільнику 2 з силою (значенням) сигналу відповідно пропорційним до величини зміни тиску в амортизаторі від задовільного, тим самим відкриваючи золотником прохідний переріз до гідролінії 5 на цю величину. Від джерела живлення мастило (робоча рідина) проходить крізь цей переріз підтримуючи необхідну витрату і рухаючись гідролінією 5, мастило заповнює циліндр з поршнем 7, який перетворює гідролічну енергію руху рідини в пневматичну, стискаючи при цьому газ з іншого боку поршня, тим самим підвищуючи тиск в пневмолінії 10 і відповідно в газовій порожнині 15 амортизатора в цілому, допоки манометр 12 не отримає задовільного значення а коли отримає – контролер 11 аналізуючи цей сигнал –

подає нульовий сигнал тому ж розподільнику 2, після чого він повертається у вихідний стан, а подача рідини крізь прохідний переріз призупиняється.

Якщо значення тиску в манометрі 12 нижче задовільного – контролер надсилає виконавчий сигнал пропорційному розподільнику 3, з силою (значенням) сигналу відповідно пропорційним до величини зміни тиску в амортизаторі від задовільного, тим самим відкриваючи золотником прохідний переріз між гідролінією 5 та гідробаком 4 на відповідну величину, стравлюючи надмірний тиск рідини в бак, відповідно зменшуючи тиск в амортизаторі до настання задовільного значення, після чого контролер надсилає нульовий сигнал розподільнику 3, що повертає його у вихідний стан.

Коли значення тиску на манометрі 12 відповідає задовільному – пневмогідравлічна система залишається в режимі очікування. До моменту торкання коліс шасі об ЗПС аеродрому, бортовий компютер 19 надсилає сигнал контролеру 11, а той надсилає сигнал пневматичному розподільнику 14, після чого сполучення газової порожнини 15 амортизатора з пневмолінією 10 – перекидається, забезпечивши амортизатор максимальною продуктивністю до здійснення удару об ЗПС. Тиск в гідравлічній порожнині 16, де виконується основна функція демпфування, відповідно за законом розподілу тиску, дорівнює тиску в газовій порожнині 15, тим самим контролюючи цей, гідравлічний, тиск через пневмопривід.

Запобіжний клапан 6 запобігає появі надмірного тиску в гідролінії 5 у нештатних випадках, запобігаючи руйнуванню пневмогідравлічної системи. Штекерне з'єднання 8 з вентилем 9 призначені для під'єднання удаленого пристрою призначеного для заряджання системи робочим газом. Відділювач рідини з автоматичним відводом мастила 13 – запобігає потраплянню робочої рідини у пневмолінію 10. Панель керування 20 призначена для внесення змін до виконавчих параметрів системи.

#### Висновки:

Представлене рішення після особливого доопрацювання може підвищити продуктивність та надійність АС та конструкції повітряного судна в цілому.

## Список використаних джерел

1. Гаража В. В. - Конструкция самолетов 1998 год.
2. Руководство по технической эксплуатации Ан-148-100А Ан-148-100В Ан-148-100Е 148.00.0000.000.000. РЭ13 Авиационный научно-технический комплекс имени О.К. АНТОНОВА 2006 г.
3. Абибов А.Л., Бирюков Н.М., Бойцов В.В. и др. Технология самолетостроения 1982 год.
4. Уравнение состояния и физико-механические характеристики рабочей жидкости при моделировании переходных процессов в гидроприводе / З. Я. Лурье, И. В. Николенко, А. Н. Рыжаков 2013 год.
5. Справочник химика 21 / ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ / Авиационные масла свойства, ссилка: <https://chem21.info/info/400773/>
6. А.Ш.Барекян - Основы гидравлики и гидропневмоприводов / Учебное пособие Издание первое / Тверь 2006.
7. Государственный стандарт союза сср / азот газообразный и жидкий технические условия гост 9293-74 (исо 2435-73) / Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25 июля 1974 г. No 1773 срок введения установлен.
8. Механика Жидкости И Газа Рекомендовано в качестве учебного пособия Редакционно-издательским советом Томского политехнического университета 2012 год.
9. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
10. Ночніченко І.В., Узунов О.В. Стабілізація характеристик автомобільної підвіски в змінних умовах експлуатації за рахунок адаптивних властивостей амортизатора // Промислова гідраліка і пневматика: Всеукраїнський науково-технічний вісник. – 2012. – № 4 (38). – С. 90–95.
11. Несторенко В.Б. Дорожньо-транспортна пригода: Бібліотека автомобіліста. – К.: Видавництво „Арій”, 2010. – 118 с.
12. Вплив температурних змін характеристик дроселів на роботу гідравлічного амортизатора, / І.В. Ночніченко, О.С. Галецький, О.В. Узунов // Вісник НТУ “КПІ”. – 2009. – № 57. – С. 157–163.