

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІТАКА

С. В. Єнчев, канд. техн. наук., доц., Л. В. Панчук

Національний авіаційний університет

esw@ukr.net

*У статті розглянуто принципи побудови, режими роботи та досліджено енергетичну ефективність системи кондиціювання повітря пасажирського літака (на прикладі Ан-148). Запропоновано альтернативну систему кондиціювання з утилізацією тепла авіаційних двигунів, розроблено її функціональну схему та побудовано енергетичну діаграму роботи.*

**Ключові слова:** система кондиціювання повітря літака, енергетична ефективність, температура масла, компресор, електродвигун, режими роботи системи кондиціювання повітря, масогабаритні характеристики, утилізація теплових відходів двигуна.

*Principles of construction are examined in the article, office hours and it is investigational power efficiency the system conditioner of air of passenger airplane (on the example of AN-148). The alternative system conditioner is offered with utilization of heat aviation engines, developed its functional diagram and built the power diagram of work.*

**Keywords:** Aircraft air conditioning system, Energy efficiency, oil temperature, compressor, electromotor, modes of the air conditioning system, weight and overall performance, waste heat engine.

### Вступ

Система кондиціювання повітря (СКП) літака призначена для створення і підтримання в кабінах літака необхідних умов життєдіяльності пасажирів і членів екіпажу. На сучасних пасажирських літаках встановлена СКП, принцип роботи якої полягає у відбиранні гарячого повітря з компресора двигуна і в подальшому нормалізуванні тиску, температури і вологості повітря.

### Постановка проблеми

Таке конструкторсько-технологічне вирішення задачі призводить до суттєвого зменшення вихідної потужності двигуна (приблизно 15 % від вихідної потужності двигуна) та ККД двигуна, внаслідок чого зменшується максимально можлива піднімальна вага літака. Отже, для вирішення цієї проблеми потрібно шукати нові, більш економічні шляхи побудови СКП і прагнути до зменшення масогабаритних характеристик.

### Аналіз досліджень і публікацій

Відома література з досліджуваного питання здебільшого стосується технічного опису відомих СКП пасажирських літаків [1; 2; 3; 4]. Питання щодо підвищення енергоефективності роботи СКП літака шляхом використання нетрадиційних схем розглядається вперше.

### Мета

Мета — сформулювати аналіз принципів побудови та режимів роботи СКП сучасних пасажирських літаків (на прикладі Ан-148); розробка альтернативної СКП та оцінювання її енергетичної ефективності.

### Завдання та склад СКП літака АН-148

За допомогою СКП здійснюється (рис. 1):

– обігрівання (охолодження) кабін екіпажу і вантажної кабіни;

– вентиляція кабін;

– обдування (з середини) скла літара;

– надування гермокабіни та автоматичне підтримання в ній заданого тиску.

СКП повинна функціонувати на землі і під час польоту, включаючи взліт, з відпрацюванням повітря від двигунів, які роблять на режимах не нижче польотного малого газу, а на землі також з відбиранням повітря з допоміжної силової установки (ДСУ).

За конструктивно-функціональними ознаками СКП можна поділити на підсистеми:

– подачі повітря, яка призначена для відбирання повітря від двигуна, обмеження його тиску і температури;

– розподілення повітря в кабінах, яка служить для забезпечення рівномірного поля температури в кабінах;

– автоматичного регулювання тиску (АРТ), яка призначена для підтримання в гермокабіні заданих: тиску, висоти початку герметизації при взльоті та висоти розгерметизації перед посадкою, а також для екстреної розгерметизації;

– охолодження, яка складається з двох турбоохолодильних установок (ТХУ), яка призначена для охолодження повітря, яке подається в кабіни;

– регулювання температури повітря в кабінах, яке складається з двох систем автоматичного регулювання температури (САРТ) — розділено в кабіні екіпажу і в вантажній кабіні з дистанційною зміною температури повітря в кабінах, в

трубопроводах і в мережній сигналізації відхилення температури в трубопроводах за верхню

допустиму границю.

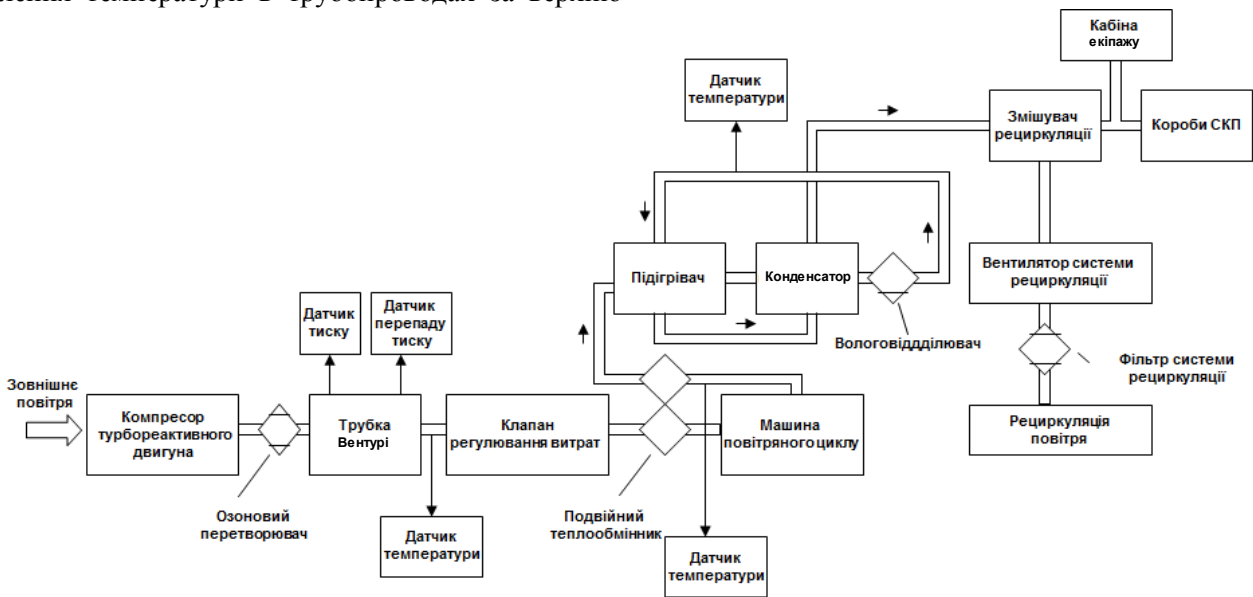


Рис. 1. Функціональна схема системи кондиціонування повітря літака Ан-148

Для контролю служить також світлова сигналізація відкритого положення кранів відбору повітря і сигналізація про відмови в СКП, які викликають перевищення допустимої температури повітря в трубопроводах, небезпечне підвищення надлишкового тиску в гермокабіні та спад абсолютного тиску до значення, при якому необхідний перехід на споживання киснем.

Оскільки пасажирські літаки літають на висотах, де озон перевищує граничнодопустимі норми, то на початку кожної з підсистем стоять озонні перетворювачі, в яких розпадаються молекули озону за допомогою каталізатора.

На літаку застосований конвекторний спосіб обігрівання (охолодження) кабіни, при якому повітря із системи охолодження надходить у кабіну через систему коробів і розподіляється в ній шляхом конвекторного перемішування. В кабінах екіпажу повітря із СКП надходить через верхні, нижні коробки й насадки індивідуальної вентиляції. Передбачені й коробки обігрівання ніг пілотів (з електронагрівачем). Для виключення конденсації вологи на склі в кабіні екіпажу передбачений відбір гарячого повітря із СКП з підігрівом електронагрівачами. Інтенсивність подачі й охолодження здійснюється через верхні коробки передньої і задньої зони. Для індивідуальної подачі повітря пасажиром було встановлено (над їх кріслами), насадки індивідуальної вентиляції. Також від індивідуальної вентиляції, через насадки, повітря надходить у туалети, в передній вестибюль і в буфет.

#### Режими роботи СКП літака Ан-148

У разі ввімкнення відбору повітря від ДСУ або двигунів, відкривається клапан регулювання витратою і повітря надходить у лівий (правий) блок кондиціонування повітрям. Регулювання витратою повітря в блоці регулювання розходом відбувається таким чином: за сигналами датчиків тиску і перепаду тиску на соплі Вентурі, а також датчика температури в трубопроводі, контролер визначає витрату через підсистему, зрівнює його з необхідним за заданою програмою, яка залежить від висоти польоту, температури за компресором, запуску програми нагрівання (охолодження) і видає сигнал на відкриті (закриті) клапани регулювання розходом.

На рис. 2 показано залежність витрати від висоти польоту в автоматичному режимі.

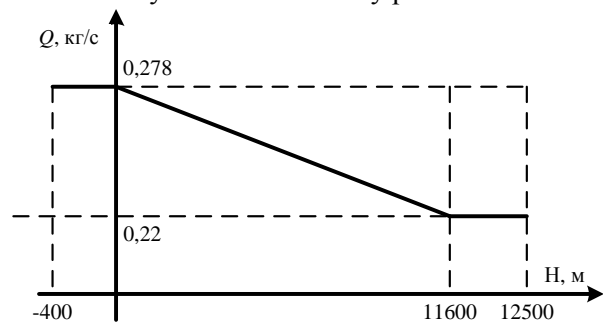


Рис. 2. Графік залежності розходу від висоти польоту в автоматичному режимі

У випадку підвищення температури на виході компресора до 260 °C більше ніж 5 с розхід установки зменшиться, що призведе до зменшення температури на виході компресора.

Охолодження гарячого повітря в блоці кондиціонування повітря (БКП) відбувається таким чином: повітря з системи підготовки повітря (СПП), після регулюючої заслінки, подається на подвійний теплообмінник, потім нагрівається в компресорі машини повітряного циклу. Температура на виході компресора контролюється датчиком температури і регулюється шляхом продування подвійного теплообмінника, або зменшення розходу установки.

У польоті привід повітряозабірника керується таким чином, щоб підтримувати найбільше значення температури на виході компресора, тим самим зменшуючи кут відкриття повітряозабірника. Для запобігання зриву потоку повітряозабірник закривається до мінімальної величини, яка забезпечує необхідний потік повітря. Після компресора повітря надходить у другий контур подвійного теплообмінника, а за ним — у «петлю» відділення вологи перед турбіною, створеною підігрівачем-конденсатором і вологовідділювачем. Охолодження повітря до температури, необхідної для конденсації вологи, виробляється повітрям, яке виходить з турбіни. Волога, яка сконденсувалась, відділяється вологовідділювачем і форсуною вприскується в продувний канал подвійного теплообмінника. Далі повітря нагрівається до випаровування крапель рідини, які залишилися у підігрівачі і поступає в турбіну. З турбіни холодне повітря надходить на конденсатор і через зворотний клапан у змішувач рециркуляції. Температура повітря, яке надходить

у змішувач, регулюється контролером СКП (шляхом зменшення ступеня відкриття клапана) відповідно до мінімальної температури, яка потребується для максимально тепловантаженої зони, або максимальної для кожної підсистеми при нагріванні кабін.

Для того щоб у вантажній кабіні швидше стабілізувалась температура і повітря очищалося від пилу, було створено систему рециркуляції повітря, яка інтенсивно забирає повітря, за допомогою двох вентиляторів, з вантажної кабіни і пропускаючи його через фільтр подає на змішувач рециркуляції, де потім розподіляється на короби вантажної кабіни, індивідуальну вентиляцію, обігрів ніг пілотів і на обдув скла кабіни екіпажу.

САРТ забезпечує:

1. Регулювання тиску в гермокабіні за заданим законом (рис. 3).
2. Установку тиску початку герметизації кабіни (тиск аеропорта).
3. Залишковий тиск у кабіні, який обмежується основною системою (на максимальних висотах польоту  $0,6 \pm 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>).
4. Залишковий тиск у кабіні, який обмежується дублюючою системою (на максимальних висотах польоту  $0,6 \pm 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>).
5. Залишковий тиск у кабіні, який обмежується дублюючою системою (на максимальних висотах польоту  $0,6 \pm 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>).
6. Залишковий тиск у кабіні, який обмежується запобіжними установками (на максимальних висотах польоту  $0,66 \pm 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>).

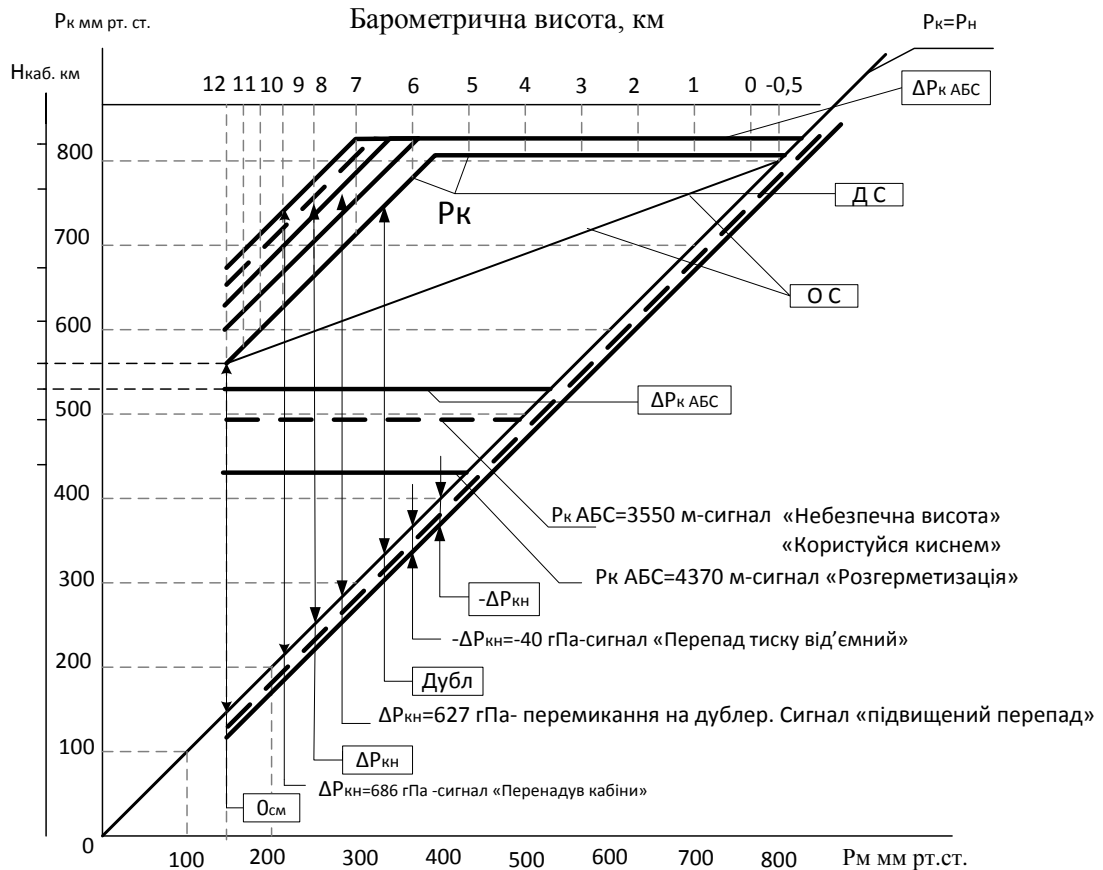


Рис. 3. Програма залежності тиску  $P_k$  в кабіні від барометричного тиску  $P_b$

7. Швидкість зміни тиску основною системою ( $0,18 \pm 0,02$  мм рт. ст./с).

8. Швидкість зміни тиску дублюючою системою ( $0,18 \pm 0,02$  мм рт. ст./с).

9. Зворотний перепад, який обмежує виконавчим клапаном (не більше  $0,02$  кгс/см<sup>2</sup>).

10. Автоматичне переключення з основної системи на дублюючу відбувається за таких умов:

- за відсутності електропостачання основної системи;

- у разі підвищення абсолютного тиску в кабіні до  $820 \pm 9$  мм рт. ст.;

- при зниженні абсолютного тиску в кабіні до  $530 \pm 9$  мм рт. ст.;

- під час підвищення залишкового тиску до  $0,64 \pm 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>.

11. Ручне ввімкнення дублюючої системи.

12. Обмеження мінімального абсолютного тиску запобіжними приладами  $551 \pm 9$  мм рт.ст.

13. Примусову розгерметизацію кабіни.

14. Повільну примусову розгерметизацію кабіни при посадці на високогірний аеропорт.

15. Примусове закриття випускних клапанів для збереження плавучості літака при посадці на воду.

16. Контроль системи і параметрів тиску повітря в кабіні і видачу сигналу про приближення до граничного значення і при виході за обмеження.

Обидва канали працюють з одним й тими самими пневматичними випускними клапанами і блоками керування (рис. 4).

Для роботи випускних клапанів використовується енергія живлення пневматичного командного пристрою і перепад тиску між кабіною і атмосферою, а при малих перепадах тиску використовується розрядження, яке створюється вакуумним насосом.

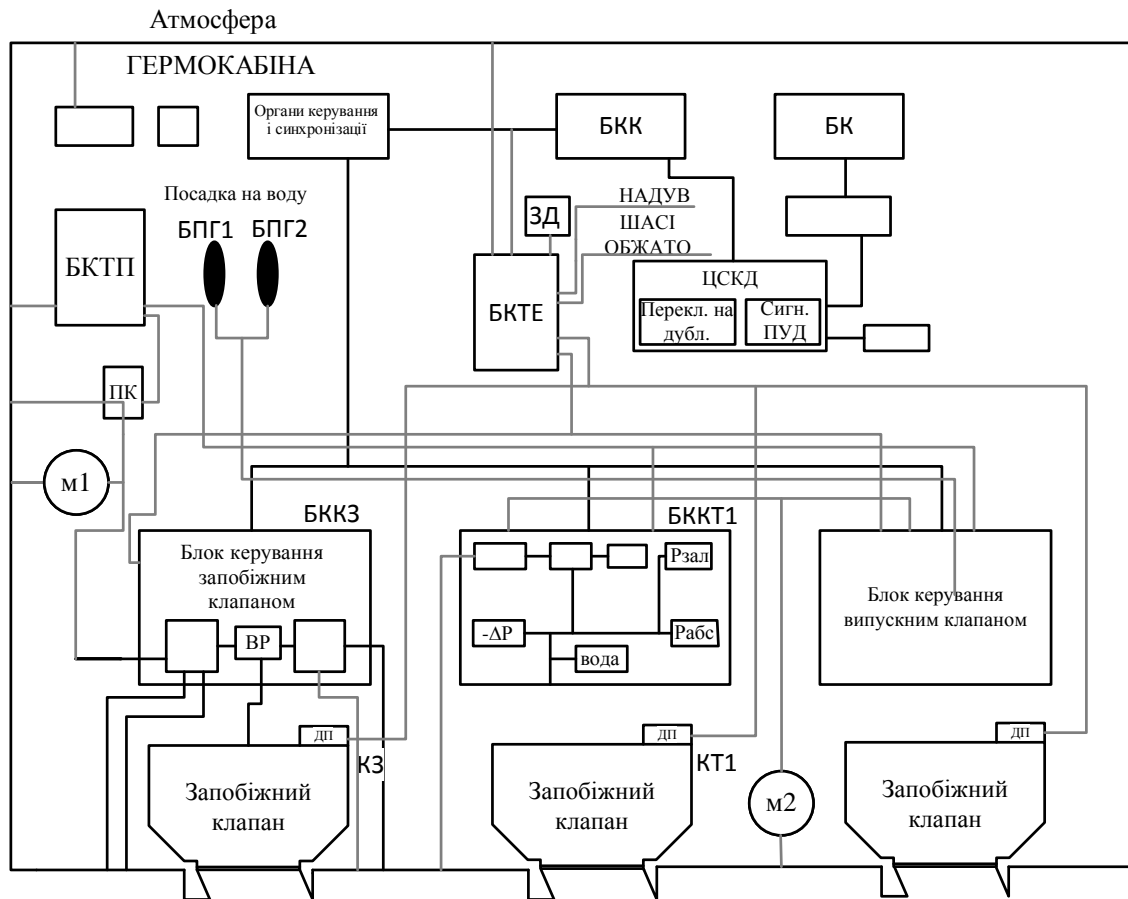


Рис. 4. Функціональна схема системи автоматичного регулювання тиску

### Аналіз енергетичних потоків у системі кондиціонування повітря літака Ан-148

Для того щоб повітря було придатним для комфортного перебування пасажирів і членів екіпажу як під час польоту, так і перед злетом, нині витрачають велику кількість енергії.

На рис. 5 показано енергетичну діаграму блоку СКП літака Ан-148. На цій діаграмі показано як змінюється енергія повітря вздовж каналу СКП, стрілками показано притоки і витoki енергії повітря, яке рухається вздовж каналу системи кондиціонування. В загальному вигляді видно, що енергія повітря різко збільшується, від значень атмосфери за бортом літака до значень повітря в компресорі двигуна, а в подальшому її зменшують до нормальних атмосферних значень і подають у салон літака через коробки, які знаходяться у верхній частині салону, по всій його довжині.

Цей метод не економічний у зв'язку з тим, що велика кількість енергії забирається з двигунів, це зменшує вихідну потужність двигуна приблизно на 15 %, відповідно зменшується коефіцієнт корисної дії і максимальна піднімальна вага літака.

Для вирішення цієї проблеми було створено новий підхід, для забезпечення системи кондиціонування теплим повітрям і в подальшому нормалізуючи до номінальних значень тиск, температуру і вологість повітря. Цей метод значно підвищить економічність двигунів і поліпшить льотно-технічні характеристики літака.

### Принцип побудови альтернативної системи кондиціонування повітрям Ан-148

Принцип побудови СКП оснований на тому, щоб забирати повітря із-за борту літака і в подальшому його підігрівати в масляному баці двигуна (рис. 6). Технічно це можливо, якщо змійо-вик розміщено в масляному баці, що сприятиме швидшому охолодженню масла в масляній системі. Для того щоб забезпечити достатній тиск у гермокабіні літака на початку СКП, необхідно встановити повітряний компресор, який працює від електродвигуна. Для запобігання потраплянню великих, твердих речовин (сміття чи птахів) у СКП, перед компресором стоїть грубий повітряний фільтр (металева сітка), який зменшить знос компресора і попередить забиття СКП.

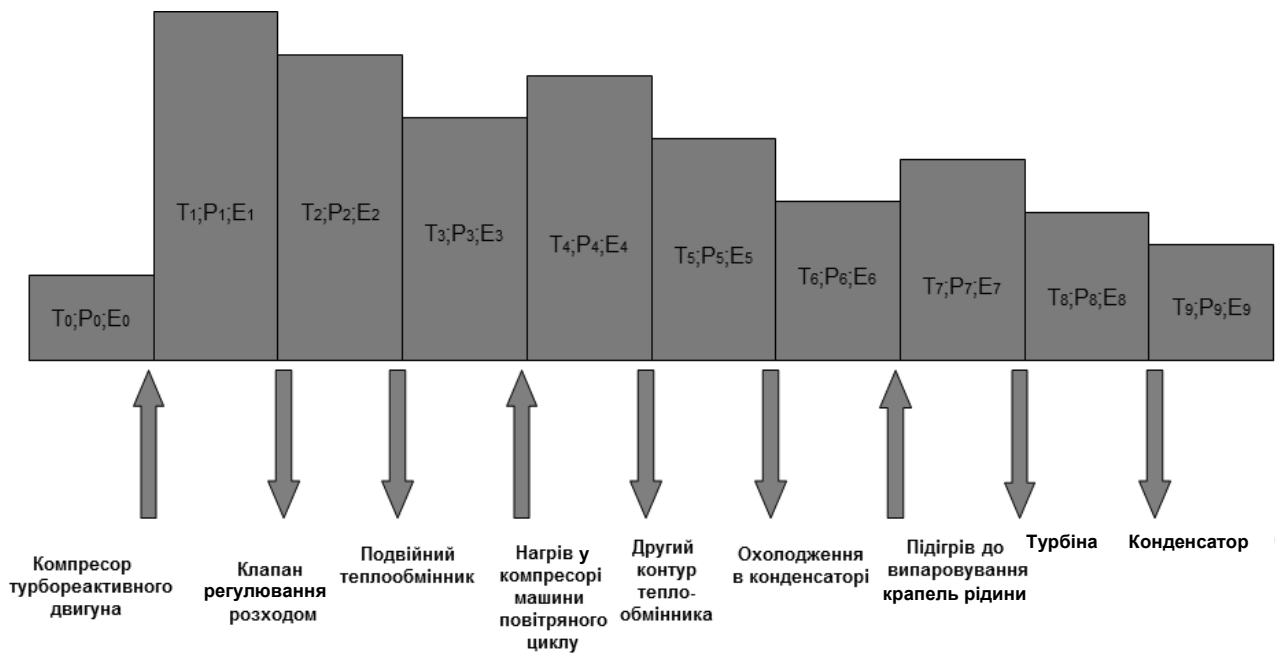


Рис. 5. Енергетична діаграма СКП літака Ан-148

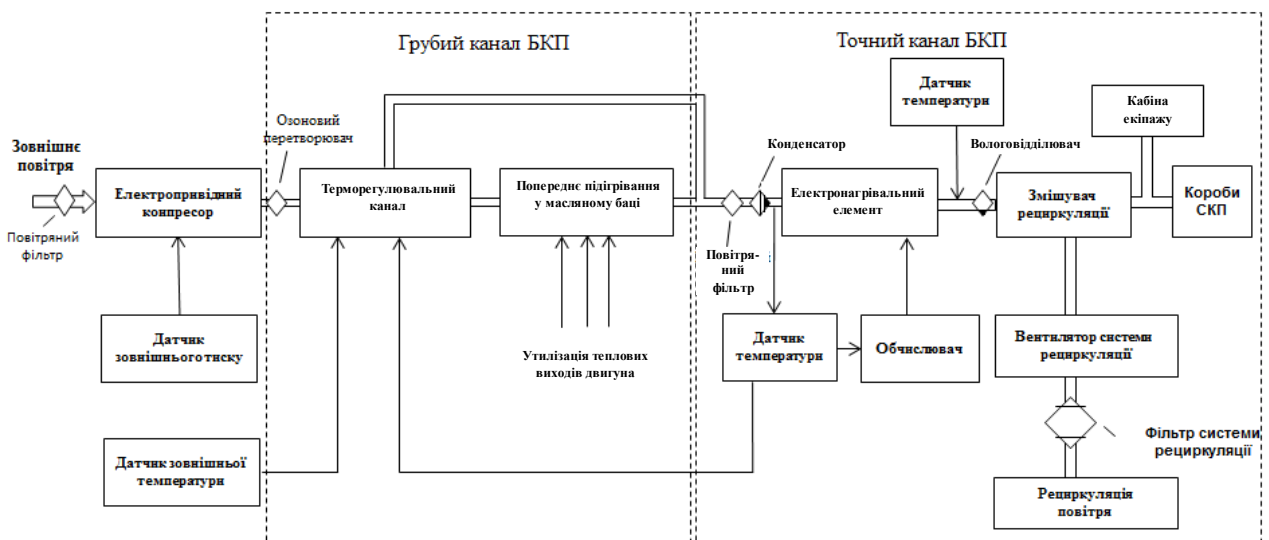


Рис. 6. Функціональна схема альтернативної системи кондиціонування повітря

Для регулювання розходу повітря, за компресором стоїть датчик зовнішнього тиску, який вимірює тиск після компресора і подає сигнал, який регулює обороти компресора на нього.

Оскільки температура масла завжди змінюється залежно від режиму роботи двигуна, то після масляного бака стоїть датчик температури, який подає сигнал одночасно на терморегулювальний клапан і через обчислювач на електронагрівний елемент. Якщо повітря нагрівається до температури, яка більша заданої, то датчик температури подає сигнал на терморегулювальний клапан, який у свою чергу спрямовує повітря за масляним баком, відповідно повітря не нагрівається і температура знову стабілізується до заданих значень. І навпаки, якщо температура нижча номінальних значень, то датчик подає сигнал через обчислювач на електронагрівальний елемент, який нагріває повітря до заданого значення, а потім вимикається.

Для грубого очищення повітря, перед ниткою накаливання стоїть повітряний фільтр, який запобігає потраплянню дрібних часточок. У подальшому повітря проходить через конденсатор, у якому волога конденсується, а потім краплі, які залишилися, випаровуються, за допомогою електронагрівального елемента. Таким чином, дану СКП можна розділити на два канали: грубий, де повітря нагрівається в широкі межі і проходить грубе очищення, і точний, де температура коливається від 19 до 25 °С, повітря очищується від дрібних часток і зменшує свою вологу до нормального стану.

### Аналіз енергетичної ефективності пропонуваної СКП

Проаналізуємо енергетичні потоки запропонуваної СКП, для цього побудуємо її енергетичну діаграму (рис. 7), на якій показані основні витрати енергії, які необхідні для функціонування СКП.

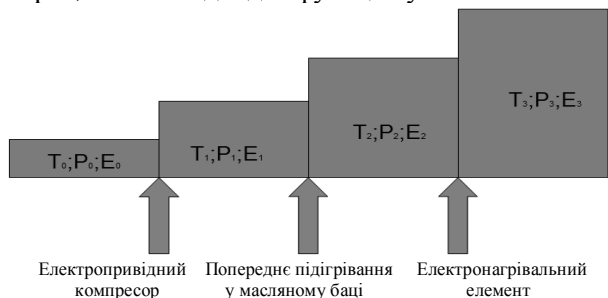


Рис. 7. Енергетична діаграма альтернативної системи кондиціонування повітря

На цій діаграмі показано які основні витрати енергії нам необхідні для повноцінного функціонування СКП. Як видно з діаграми, витрати енергії повітря поступово збільшуються до номінальних значень, за рахунок чого система стала економічнішою за традиційну систему, в якій енергія повітря в великій кількості забирається від двигунів, а потім ми її зменшуємо до тих же номінальних значень, тобто витрачається багато енергії, яка віддається в основному в атмосферу.

Серед переваг цієї системи є те, що СКП може функціонувати навіть при не запущених двигунах та відсутні повітрязабирачі, які були необхідні для охолодження повітря в подвійних теплообмінниках, що значно покращило аеродинамічні властивості. Але серед переваг є і недоліки, а саме: застосування компресора і електронагрівальних елементів, які працюють від системи електропостачання постійного струму, що призводить до збільшення потужності генераторів, у зв'язку з цим, збільшуються масогабаритні характеристики генераторів, а отже, і самого літака.

### Висновки

У роботі досліджено та науково обґрунтовано можливість побудови альтернативної системи кондиціонування повітря пасажирського літака (на прикладі Ан-148), яка ґрунтується на теплоутилізації теплової енергії авіадвигунів. У подальшому потрібно дослідити можливість розробки керованого авіаційного електропривідного агрегату постійного струму для реалізації заданої витрати повітря (див. рис. 2) та програми підтримки тиску в кабіні (див. рис. 3), з необхідним рівнем надійності.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Самолет Ан-148-100*. Руководство по технической эксплуатации. Раздел 21. Система кондиционирования воздуха. — К. : АНТК «Антонов», 2004. — 118 с.
2. *Самолет Ил-96-300*: учеб. пособие / под ред. В. Г. Воробьева и Д. В. Лещинера. — М. : МИИГА, 1989. — 185 с.
3. *Самолет Як-42*: учеб. пособие / М. И. Денисов, Л. Г. Уланова. — Ростов : СК УТЦ ГА, 2000. — Т. 1. — 145 с.
4. *Самолет Ан-26*. Конструкция и эксплуатация / Ж. С. Черненко, Г. С. Лагосюк, Б. И. Горовой. — М. : Транспорт, 1977. — 341 с.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2011..