

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΕΡΙΩΘΟΥΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΠΛΑΝΩΝ



Σπουδαστές

Κορκόντζηλας Κωνσταντίνος
Δημητρίου Κωνσταντίνος

Επιβλέπων καθηγητής: Πολυζάκης Απόστολος

Πάτρα 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της πτυχιακής μας εργασίας είναι να γνωρίσουμε την αρχή λειτουργίας των αεροστροβίλων κινητήρων, τις κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται αυτοί οι κινητήρες και τους τρόπους που υπάρχουν για να γίνει η συντήρησή τους.

Αρχικά η εργασία μας κάνει μια εισαγωγή για τα αεροσκάφη και για την ιστορική τους αναδρομή, αναλύει τα βασικά μέρη ενός αεροσκάφους και περιλαμβάνει μια κατηγοριοποίηση ανάλογα με το είδος των πτερυγίων.

Στη συνέχεια η εργασία ασχολείται με τους διάφορους τύπους αεριοστροβίλων κινητήρων (turbojet, turbofan, turboprop) και την αρχή λειτουργίας αυτών. Επιπλέον γίνεται η κατηγοριοποίηση αυτών με βάση κάποια κριτήρια καθώς και οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ τους.

Επιπρόσθετα, ένα καθοριστικό κομμάτι για την σωστή λειτουργία των αεριοστροβίλων κινητήρων είναι η συντήρησή τους η οποία αποτελείται από πολλά στάδια όπως θα δούμε παρακάτω. Ακόμα αναφέρονται οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις βλαβών του κινητήρα και η αποφυγή αυτών μέσω της πρόληψης. Ένα σημαντικό κομμάτι ακόμα είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αεριοστροβίλων κινητήρων όπως είναι τα συστήματα λίπανσης, ψύξης και καυσίμων και το ρόλο που παίζουν αυτά στον τρόπο λειτουργία τους.

Τέλος υπάρχει η αναλυτική συντήρηση και τα προγράμματα που ακολουθούνται στους κινητήρες F100-PW-229 και CFM-56 καθώς και η διαδικασία που απαιτείται για να αποκτήσει κάποιος την άδεια Part 66 για να είναι πιστοποιημένος τεχνικός αεροσκαφών και να μπορεί να πιστοποιήσει την συντήρηση και επισκευή στο αεροσκάφος.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου, έχοντας δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

ΚΟΡΚΟΝΤΖΗΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

.....

.....

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
---------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2 Είδη αεροπλάνων.....	2
1.3 Βασικά μέρη αεροπλάνου.....	3
1.4 Ασφάλεια.....	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ – ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

2.1 Αερίωση.....	9
2.2 Ωση.....	10
2.3 Αρχή λειτουργίας αεροστρόβιλου – κινητήρα.....	10
2.4 Κύρια μέρη του αεριοστροβίλου.....	12
2.5 Ταξινόμηση αεροστροβίλων και βασικά χαρακτηριστικά τους.....	15
2.6 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μεταξύ τύπων αεροστροβίλων.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

3.1 Μέτρα ασφαλείας.....	22
3.2 Τύποι συντήρησης.....	22
3.2.1 Συντήρηση επιπέδου γραμμής (1 ^{ος} βαθμός συντήρησης).....	23
3.2.2 Συντήρηση επιπέδου συνεργείου (2 ^{ος} βαθμός συντήρησης).....	24
3.2.3 Συντήρηση επιπέδου εργοστασίου (3 ^{ος} βαθμός συντήρησης).....	25
3.3 Συντήρηση, ρύθμιση και αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεροστρόβιλων κινητήρων.....	26
3.3.1 Συντήρηση και επισκευή ψυχρού τμήματος.....	26
3.3.2 Συντήρηση και επισκευή θερμού τμήματος.....	27
3.4 Λίπανση - Συστήματα λίπανσης.....	28
3.4.1 Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά λιπαντικών.....	28
3.4.2 Τύποι συστημάτων λίπανσης αεροστρόβιλων κινητήρων.....	29
3.4.3 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης.....	30
3.5 Σύστημα ψύξης.....	30
3.5.1 Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα.....	31
3.5.2 Εσωτερική ψύξη του κινητήρα.....	31
3.6 Σύστημα Καυσίμου και Καύσιμα.....	32
3.6.1 Τύποι και Ιδιότητες Καυσίμων.....	32
3.6.2 Τύποι Αεροπορικών Καυσίμων.....	33
3.7 Διάγνωση και Πρόγνωση Βλαβών.....	34
3.8 Μέθοδοι Διάγνωσης και Πρόγνωσης Βλαβών.....	35
3.9 Επιθεωρήσεις.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

4.1 Ανάλυση κινητήρα F100-PW-229.....	40
4.2 Ανάλυση κινητήρα CFM-56.....	42
4.2.1 Fan major module.....	42
4.2.2 Core major module.....	43
4.2.3 Low pressure turbine major module.....	44
4.2.4 Τεστ στον κινητήρα CFM-56.....	45
4.2.5 Βασική αντιμετώπιση προβλημάτων.....	50
4.2.6 Διαδικασίες διατήρησης και επαναφοράς του κινητήρα (power plant preservation and depreservation).....	51
4.2.7 Καθαρισμός κινητήρα.....	52
4.3 Χαρακτηριστικά τεχνικών.....	53
4.3.1 Πιστοποίηση τεχνικών.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....57

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ορισμός

Το αεροπλάνο - αεροσκάφος είναι μια πτητική συσκευή βαρύτερη από τον αέρα (σε αντίθεση με το αερόστατο), με ακίνητες πτέρυγες (σε αντίθεση με το ελικόπτερο), στις οποίες, εκ της ταχύτητας που αναπτύσσει, δημιουργείται δύναμη άνωσης, που κρατά αυτή στον αέρα. Η κίνηση προς τα εμπρός επιτυγχάνεται με την προωθητική δύναμη του κινητήρα, ελικοφόρου ή στροβιλοκινητήρα. Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ανθρώπων και εμπορευμάτων, σε ειρηνικούς αλλά και πολεμικούς σκοπούς.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το αεροπλάνο άρχισε να χρησιμοποιείται από τον 20^ο αιώνα, αλλά η ιδέα να πετάξει στον αέρα ο άνθρωπος είναι πολύ παλιά. Σε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς (Κίνας, Ινδίας, Αιγύπτου) υπάρχουν εικόνες φτερωτών ανθρώπων. Είναι επίσης γνωστός ο μύθος για το ζωγράφο, γλύπτη και αρχιτέκτονα Δαίδαλο και τον γιο του Ίκαρο που πέταξαν με φτερά φτιαγμένα από τον Δαίδαλο. Κατά τη γνωστή ιστορία έγιναν πολλές απόπειρες κατασκευής πτητικών συσκευών. Χαρταετοί χρησιμοποιήθηκαν για πολεμικούς σκοπούς από πολλούς λαούς στην αρχαιότητα και στον Μεσαίωνα. Για πολλούς αιώνες ο άνθρωπος προσπάθησε, χωρίς όμως επιτυχία, να χρησιμοποιήσει τη μυϊκή του δύναμη, για να πετάξει. Ο Ιταλός ζωγράφος, σοφός και μηχανικός Λεονάρντο Ντα Βίντσι, που έζησε τον 15^ο και στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, προσπάθησε για πρώτη φορά να στηρίξει θεωρητικά τη δυνατότητα κατασκευής πτητικής συσκευής, με βάση την προσεκτική μελέτη του τρόπου πτήσης των πουλιών. Ο Λεονάρντο σχεδίασε πτητικές συσκευές που κινούνταν με τη βοήθεια της μυϊκής δύναμης του ανθρώπου, καθώς και ένα πρότυπο ελικόπτερο με μηχανική κίνηση.

Τον 17^ο αιώνα ο Ιταλός Τζιοβάνι Μπορέλι και ο Άγγλος Ρ. Γκουκ κατέληξαν σε ένα σοβαρό, αν και αρνητικό αποτέλεσμα. Είπαν ότι δεν είναι δυνατή η πτήση του ανθρώπου με τη χρήση μόνο της μυϊκής δύναμης καθώς, προκειμένου να πετάξει αυτόνομα, ο άνθρωπος θα έπρεπε να έχει πολλαπλάσιο μυϊκό όγκο. Απέδειξαν έτσι θεωρητικά πως, για να κατασκευαστεί συσκευή πιο βαριά από τον αέρα που να πετά, χρειάζεται οπωσδήποτε κινητήρας. Όταν εφευρέθηκε η ατμομηχανή τον 18^ο αιώνα και ιδιαίτερα όταν τελειοποιήθηκε τον 19^ο αιώνα, έγιναν πολλές απόπειρες να κατασκευαστεί ατμοκίνητη πτητική συσκευή.

Έτσι, τον 19^ο αιώνα κατασκευάστηκε το πρώτο αεροπλάνο από τον Ρώσο εφευρέτη Α.Φ. Μοζάισκι. Η συσκευή έκανε μικρή πτήση. Αργότερα, στο τέλος του αιώνα, ο Χ. Μαξίμ στην Αγγλία έκανε δοκιμή αεροπλάνου με ατμομηχανή, αλλά στην πρώτη απόπειρα να αποσπαστεί από το έδαφος η μηχανή έπαθε βλάβη.

Γενικά η ατμομηχανή, με τις διαστάσεις και το βάρος που είχε, δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις μιας πτητικής συσκευής και έτσι μόνο στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, όταν αναπτύχθηκαν κινητήρες εσωτερικής καύσης, μπόρεσε να επιτευχθεί κατασκευή αεροπλάνου ικανή για πτήση.

Έτσι, οι αδελφοί Ράιτ (εφευρέτες και αεροπόροι) κατάφεραν να κατασκευάσουν αεροπλάνο που να επιτυγχάνει σταθερή πτήση και μάλιστα με επιβάτη. Διαβλέποντας τη στρατηγική του σημασία, πολλές κυβερνήσεις ανέπτυξαν το αεροπλάνο κυρίως για στρατιωτική χρήση, ιδιαίτερα κατά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Το αεροπλάνο χρησιμοποιήθηκε σε ακόμα μεγαλύτερη κλίμακα στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, στη διάρκεια του οποίου αναπτύχθηκαν

πολύ τα καταδιωκτικά και τα βομβαρδιστικά. Στο τέλος του πολέμου οι Γερμανοί κατασκεύασαν αεροπλάνα με στροβιλοκινητήρα. Μετά τον πόλεμο κατασκευάστηκαν τα πυραυλοκίνητα αεροπλάνα.

1.2 ΕΙΔΗ ΑΕΡΟΠΛΑΝΩΝ

Τα αεροπλάνα, ανάλογα με τους σκοπούς χρήσης τους, διακρίνονται σε πολιτικά (Σχήμα 1.2) και στρατιωτικά (Σχήμα 1.1). Επίσης ανάλογα με το είδος των οργάνων προσγείωσης διακρίνονται σε αεροπλάνα και υδροπλάνα, ανάλογα με τις μορφές του προωθητικού συστήματος διακρίνονται σε "ελικοφόρα" και "αεριοθούμενα". Επίσης ένας άλλος διαχωρισμός είναι ανάλογος με τη χρήση τους, σύμφωνα με την οποία υπάρχουν αεροπλάνα εκπαιδευτικά, περιπολικά, ψεκαστικά, πυροσβεστικά, μαχητικά, μεταγωγικά, κατασκοπευτικά κλπ.



1.1 Μαχητικό Ρωσικό αεροσκάφος Su -35 [19]



1.2 Πολιτικό επιβατικό boeing 787 [20]

Επίσης, υπάρχουν και αεροπλάνα νοσοκομειακά με ειδικά διαρρυθμισμένο χώρο για άμεση εξυπηρέτηση, που όμως δεν είναι τόσο πρακτικά όσο τα ελικόπτερα, γιατί χρειάζονται ειδικό χώρο προσγείωσης (αεροδρόμια).

Τα επιβατικά αεροπλάνα έφτασαν στον υψηλότερο ίσως βαθμό εξέλιξής τους με την κατασκευή του υπερηχητικού αεροπλάνου Concorde (Σχήμα 1.3) από τη γαλλική και βρετανική αεροπορική βιομηχανία, που μπορούσε να μεταφέρει 128 επιβάτες με ταχύτητα 2.170 χλμ. την ώρα. Το μήκος του είναι 61,66 μ. το ύψος του 12,19 μ. και με ύψος πτήσης 15.000 - 18.000 μέτρα



1.3 Concorde [6]

1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΥ

Ένα αεροπλάνο αποτελείται από έξι βασικά μέρη που διαφέρουν στη μορφή και στον προορισμό τους. Αυτά είναι:

- Η άτρακτος
- Οι πτέρυγες
- Το ουραίο πτερυγιακό συγκρότημα
- Το σύστημα πρόωσης
- Το σύστημα προσγείωσης
- Σύστημα χειρισμού και ελέγχου.

Άτρακτος: Η άτρακτος, όπως το λέει και το όνομά της, έχει σχήμα ατρακτοειδές και αποτελεί το βασικό σώμα του αεροπλάνου, πάνω στο οποίο προσαρμύζονται και οι πτέρυγες. Στο μπροστινό τμήμα της ατράκτου υπάρχει ο θάλαμος διακυβέρνησης και το μεγαλύτερο μέρος της χρησιμοποιείται για επιβάτες, αποσκευές ή εμπορεύματα, αν το αεροπλάνο είναι μεταφορικό ή για αμυντικό ή επιθετικό εξοπλισμό, αν είναι πολεμικό.

Η άτρακτος πρέπει να έχει σχήμα αεροδυναμικό, έτσι που να παρουσιάζει την μικρότερη δυνατή αντίσταση κατά την κίνηση στον αέρα. Όταν η ταχύτητα του αεροπλάνου είναι υποηχητική, η αντίσταση του αέρα δεν είναι πολύ μεγάλη. Έτσι τα περισσότερα μεταφορικά αεροσκάφη είναι υποηχητικά (Σχήμα 1.5), διότι όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μέσα στην άτρακτο μεταφέρονται εμπορεύματα και επιβάτες, γεγονός που απαιτεί άτρακτο με μεγάλες διαστάσεις.

Στα υπερηχητικά αεροπλάνα επιδιώκεται το μπροστινό μέρος να είναι κώνος με μικρή γωνία και το πίσω μέρος να καταλήγει σε κόψη (Σχήμα 1.4), για να περιορίζει τις δίνες, που σχηματίζονται από την κίνηση της ατράκτου μέσα στον αέρα. Στο μπροστινό άκρο της ατράκτου αυτών των αεροσκαφών, τοποθετείται σουβλερή μύτη που διευκολύνει τη μετάβαση από την ηχητική στην υπερηχητική ταχύτητα.



1.4 F-35 υπερηχητικού αεροσκάφος [18]



1.5 Airbus 380 υποηχητικό αεροσκάφος [17]

Για την κατασκευή της ατράκτου χρησιμοποιούνται κράματα όσο το δυνατόν πιο ανθεκτικά στην θερμοκρασία και την μηχανική καταπόνηση, που αποτελούνται κυρίως από τιτάνιο, αλουμίνιο, νικέλιο και πολλά άλλα στοιχεία σε πολύ μικρές ποσότητες. Η αναλογία των διαφόρων στοιχείων στο κράμα είναι διαφορετική για την κάθε αεροναυπηγική βιομηχανία. Επιπλέον η βάση των εξωτερικών μεταλλικών κατασκευών είναι τέτοια, έτσι ώστε να μην παρασύρεται κατά την κίνηση του αεροσκάφους.

Πτέρυγες: Οι πτέρυγες είναι το κυριότερο τμήμα κάθε ιπτάμενης συσκευής βαρύτερης από τον αέρα, γιατί με αυτές κατορθώνεται η ανύψωση και η πτήση της. Τα αεροπλάνα διαιρούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό, το σχήμα και την διάταξη των πτερύγων. Αυτά που έχουν τρεις παράλληλες σειρές πτερυγίων την μία πάνω στην άλλη ονομάζονται τριπτέρυγα. Αυτά που έχουν δύο σειρές πτερύγων ονομάζονται διπτέρυγα. Όταν η μία από τις δύο πτέρυγες είναι πιο μπροστά από την άλλη, έχουμε προπορεία πτέρυγας. Όταν προεξέχει η επάνω έχουμε θετική, ενώ όταν προεξέχει η κάτω έχουμε αρνητική. Ο τρίτος τύπος ο οποίος χρησιμοποιείται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά, είναι του μονοπλάνου, που έχει μόνο μία σειρά από πτέρυγες. Αυτός ο τύπος έχει τεράστια πλεονεκτήματα από αεροδυναμικής άποψης.

Τα μονοπτέρυγα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με την θέση της πτέρυγας στην άτρακτο.

- **Παρασόλ:** Η πτέρυγα βρίσκεται πάνω από την άτρακτο και στηρίζεται σε αυτήν με μικρούς στύλους. Σήμερα ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σπάνια κυρίως σε υδροπλάνα, με σκοπό να διατηρήσει τους κινητήρες όσο το δυνατό ψηλότερα από το νερό.

- **Υψηλοπτέρυγα:** Η πτέρυγα είναι κολλημένη στο επάνω μέρος της ατράκτου (Σχήμα 1.6). Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται κυρίως σε διθέσια και τετραθέσια αεροπλάνα ιδιωτικής χρήσης. Επίσης ένα μεγάλο μέρος των μαχητικών αεροσκαφών είναι κατασκευασμένο με αυτόν τον τρόπο.



1.6 Υψηλοπτέρυγο επιβατικό αεροπλάνο [16]

- **Μεσοπτέρυγο:** Η πτέρυγα είναι κολλημένη στο μέσο της ατράκτου (Σχήμα 1.7). Χρησιμοποιείται σπάνια στα βομβαρδιστικά αεροσκάφη και ακόμα σπανιότερα στα καταδιωκτικά, αλλά καθόλου στα επιβατικά. Το μεσοπτέρυγο παρουσιάζει πολλά αεροδυναμικά πλεονεκτήματα αλλά είναι πολύ περίπλοκα τα προβλήματα του τρόπου κατασκευής του.



1.7 Μεσοπτέρυγο αεροπλάνο (Mazda sport Z50) [15]

- **Χαμηλοπτέρυγο:** Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος για τα πολεμικά και πολιτικά αεροπλάνα. Σχεδόν όλα τα πολιτικά και περίπου τα μισά πολεμικά είναι χαμηλοπτέρυγα. Σε αυτόν τον τύπο η πτέρυγα είναι κολλημένη στο κάτω μέρος της ατράκτου (Σχήμα 1.8). Κατασκευάζεται εύκολα, έχει πολύ καλά αεροδυναμικά στοιχεία και επιτρέπει πολύ καλή ορατότητα στον χειριστή του. Όλες οι πτέρυγες

τοποθετούνται με κλίση προς τα πάνω, σε σχέση με τον διαμήκη άξονα της ατράκτου. Το άκρο της πτέρυγας που είναι κολλημένο στην άτρακτο ονομάζεται ακροπτερύγιο.



1.8 Χαμηλοπτερύγιο αεροπλάνο (Ιαπωνικό A6M “Zero”) [14]

Ως προς το σχήμα τους οι πτέρυγες διακρίνονται σε ευθείες, κωνικές, κωνικές με βέλος, πτέρυγες τύπου δέλτα και μεταβλητής γεωμετρίας.

Ουραίο πτερυγιάκό συγκρότημα: Επειδή οι πτέρυγες δεν αρκούν από μόνες τους για να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ευστάθεια στο αεροσκάφος, προσαρμόζεται σε αυτό ένα πρόσθετο στοιχείο εξισορρόπησης. Το στοιχείο αυτό είναι το ουραίο πτερυγιάκό συγκρότημα. Αποτελείται από βοηθητικές πτερυγιάκές επιφάνειες, από τις οποίες είναι απαραίτητο, η μία να είναι συνδεδεμένη με την άλλη σταθερά μεταξύ τους. Η κάθετη επιφάνεια που εξασφαλίζει την εγκάρσια ευστάθεια του αεροπλάνου, ονομάζεται κάθετο σταθερό, ενώ η οριζόντια επιφάνεια εξασφαλίζει την διαμήκη ευστάθεια και ονομάζεται οριζόντιο σταθερό. Το ουραίο πτέρωμα τοποθετείται στο πίσω μέρος της ατράκτου, έτσι ώστε ο μοχλοβραχίονας του να είναι μεγάλος και έτσι να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του αεροσκάφους. Υπάρχουν διάφορα είδη διατάξεων των επιφανειών του ουραίου πτερώματος. Οι επιφάνειες του ουραίου πτερώματος εφοδιάζονται με κατάλληλα κινητά τμήματα που ονομάζονται πηδάλια. Έτσι στο κάθετο σταθερό έχουμε το πηδάλιο διεύθυνσης και στο οριζόντιο σταθερό τα πηδάλια ύψους – βάθους.

Σύστημα προώθησης: Στα αεροπλάνα η κίνηση οφείλεται στο μηχανικό έργο που δίνει ο κινητήρας. Εξαιτίας της δράσης του κινητήρα, τα αέρια επιταχύνονται προς τα πίσω είτε εξαιτίας της περιστροφής του έλικα, είτε εξαιτίας της κίνησης που αποκτούν μέσα στον ίδιο τον κινητήρα. Ο έλικας κατά την περιστροφή του αναρροφά και ταυτόχρονα σπρώχνει προς τα πίσω τις μάζες του αέρα. Για να γίνει αυτό, ο έλικας ασκεί μια δύναμη πάνω στις μάζες του αέρα και αυτές ασκούν μια ίση δύναμη πάνω στον έλικα. Αυτή η δύναμη προκαλεί την προώθηση του αεροπλάνου. Στα αεριοθούμενα η προωστική δύναμη προκαλείται εξαιτίας της ανάκρουσης που δημιουργείται από την εκτόξευση των αέριων μαζών προς τα πίσω.

Σύστημα προσγείωσης: Είναι το σύστημα που επιτρέπει στο αεροπλάνο να στηρίζεται στο έδαφος καθώς και να κινείται κατά την προσγείωση. Αποτελείται από ένα σύνολο τροχών με σαμπρέλα μεγάλου όγκου με χοντρό ελαστικό, έτσι ώστε να έχουν μεγάλη αντοχή. Συνήθως είναι τοποθετημένο όσο το δυνατόν πιο μπροστά, για να αποφεύγεται ο κίνδυνος ανατροπής. Επίσης κατά την πτήση του αεροπλάνου ανασύρεται, για να μην δημιουργεί αντίσταση.

Περιλαμβάνει επίσης υδραυλικό αμορτισέρ για την απόσβεση των δονήσεων, κατά την προσγείωση και υδραυλικά φρένα για τους τροχούς.

Για ειδικές περιπτώσεις έχουν αναπτυχθεί διάφορες μορφές συστημάτων προσγείωσης. Υπάρχουν συστήματα με δυνατότητα προσανατολισμού, σε περιπτώσεις πλάγιου ανέμου, αρθρωτά συστήματα, για να δίνεται η δυνατότητα προσγείωσης σε οποιοδήποτε έδαφος και συστήματα με σκι ή υδροπτερύγια για προσγείωση σε χιόνι ή νερό αντίστοιχα.

Για την προσγείωση σε αεροπλανοφόρα χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις για να ελαττώνεται το μήκος τροχοδρόμησης. Για το σκοπό αυτό το αεροπλάνο είναι εφοδιασμένο με έναν ανασυρόμενο γάντζο, που πιάνεται σε ειδικά καλώδια με μια σχετική ελαστικότητα. Τελευταία συνηθίζεται στο τέλος της διαδρομής προσγείωσης του αεροπλάνου να τοποθετούνται ειδικά ελαστικά φράγματα.

Σύστημα χειρισμού και ελέγχου: Το σύστημα αυτό ονομάζεται πιλοτήριο και βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της ατράκτου. Αυτό περιλαμβάνει όργανα μέτρησης ταχυτήτων (αέρα, αεροπλάνου), ενδεικτικά όργανα, όργανα ραδιοτηλεφωνίας, αυτόματο πιλότο και όργανα κλιματισμού. Ο δείκτης ταχύτητας ανέμου λειτουργεί με βάση έναν σωλήνα πιτότ, που δείχνει την ταχύτητα ανακοπής του αέρα, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας του αέρα. Απαραίτητα είναι και τα ενδεικτικά όργανα, τα οποία δείχνουν, αν το αεροπλάνο παρεκκλίνει από την πορεία του. Μια άλλη σειρά οργάνων δείχνει τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις, καθώς και την ποσότητα των καυσίμων, λαδιών και αερίων καύσης. Στον τεχνικό εξοπλισμό των αεροσκαφών υπάρχει το λεγόμενο μαύρο κουτί (black box) που καταγράφει κάθε στιγμή ότι συμβαίνει στο αεροσκάφος, τις ενδείξεις των μετρητών, τις συνομιλίες των χειριστών κτλ. Αυτό το κουτί το μελετούν ειδικοί σε περίπτωση πτώσης, για να γίνουν γνωστές οι αιτίες που οδήγησαν στην πτώση.

1.4 ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Στους επόμενους στατιστικούς πίνακες φαίνεται η ασφάλεια του αεροπλάνου σε σχέση με άλλα μέσα μεταφοράς. Υπάρχουν τρεις κύριες στατιστικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση της ασφάλειας των διαφόρων μορφών του ταξιδιού:

Θάνατοι ανά δισεκατομμύριο ταξίδια	Θάνατοι ανά δισεκατομμύριο ώρες	Θάνατοι ανά δισεκατομμύρια χλμ.
Λεωφορείο: 4.3	Λεωφορείο: 11.1	Αεροπλάνο: 0.05
Τραίνο: 20	Τραίνο: 30	Λεωφορείο: 0.4
Φορτηγό: 20	Αεροπλάνο: 30.8	Τραίνο: 0.6
Αυτοκίνητο: 40	Πλοίο: 50	Φορτηγό: 1.19
Πεζοί: 40	Φορτηγό: 60	Πλοίο: 2.6
Πλοίο: 90	Αυτοκίνητο: 130	Αυτοκίνητο: 3.1
Αεροπλάνο: 117	Πεζοί: 220	Ποδήλατο: 44.6
Ποδήλατο: 170	Ποδήλατο: 550	Πεζοί: 54.2
Μοτοσικλέτα: 1640	Μοτοσικλέτα: 4840	Μοτοσικλέτα: 108.9

Οι ασφαλιστικές εταιρίες του αεροπορικού κλάδου βασίζουν τους στατιστικούς υπολογισμούς τους στον αριθμό των θανάτων ανά ταξίδι, ενώ η ίδια η βιομηχανία χρησιμοποιεί γενικά τον αριθμό των θανάτων ανά χιλιόμετρο στα δελτία τύπου.

Συμβαίνουν πολλά αεροπορικά ατυχήματα, τα περισσότερα από αυτά είναι ανθρώπινα λάθη. Βέβαια η πιθανότητα να γίνει αεροπορικό ατύχημα με το αεροπλάνο που ταξιδεύουμε είναι εξαιρετικά μικρή. Τα περισσότερα αεροπορικά ατυχήματα συνήθως συμβαίνουν κατά την προσγείωση ή την απογείωση. Σε αυτές τις περιπτώσεις αεροπορικών ατυχημάτων είτε οι πιλότοι δεν έχουν βάλει σε σωστή θέση τα πτερύγια flaps ή έχουν πατημένα τα φρένα ή συγκρούονται αεροπλάνα μεταξύ τους, τα οποία είναι ανθρώπινα λάθη λόγω αμέλειας. Υπάρχουν και δύσκολες καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης may day και στον αέρα, όπως το να σβήσουν οι κινητήρες λόγω κακοκαιρίας ή λόγω κάποιας διαρροής καυσίμων, λόγω κακής συντήρησης ή ακόμα μπορεί και να τελειώσουν τα καύσιμα αφού δεν έγινε ανεφοδιασμός όταν έπρεπε. Στην περίπτωση που χαλάσουν οι κινητήρες ή τελειώσουν τα καύσιμα, συνήθως οι πιλότοι καταφέρνουν να προσγειώσουν το αεροπλάνο με ασφάλεια. Για παράδειγμα, το 2009 πιλότος προσθάλασσε αεροπλάνο στον ποταμό Χάντσον στην Νέα Υόρκη, όταν χάλασαν οι κινητήρες από πουλιά που μπήκαν μέσα τους, μία από τις μοναδικές επιτυχημένες προσθάλασσες στην ιστορία της αεροπλοΐας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ – ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

2.1 ΑΕΡΙΩΘΗΣΗ

Ανατρέχοντας στην ιστορία δε θα βρει κανείς ποιος ήταν εκείνος στον οποίο ανήκει το προνόμιο της ανακάλυψης της αρχής της αερίωσης αλλά αρκετοί ήταν αυτοί οι οποίοι ασχολήθηκαν με αυτήν. Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (1ο αιώνα μ.χ.) ήταν εκείνος ο οποίος πραγματοποίησε την πρώτη εφαρμογή της αερίωσης. Η μηχανή που κατασκεύασε θεωρείται πρόδρομος των αεριοστρόβιλων κινητήρων. Ένα κλειστό στρογγυλό δοχείο με νερό θερμαινόταν μέχρι να παραχθεί ατμός ο οποίος έβρισκε έξοδο μέσα από δύο αυλάκια, έτσι με την δύναμη του ατμού το δοχείο άρχιζε σιγά σιγά να περιστρέφεται.

Το 1629, ο Ιταλός μηχανικός Giovanni Branca σχεδίασε ουσιαστικά τον πρώτο στρόβιλο. Ατμός παραγόμενος σε θερμαινόμενο δοχείο περιστρεφε έναν δίσκο ο οποίος έφερε κοιλότητες στην περιφέρειά του. Καθώς ο δίσκος περιστρεφόταν, μέσω ενός συστήματος γραναζιών, περιστρεφόταν και ένας άλλος άξονας. Το σύστημα αυτό βρήκε εφαρμογή σε μύλο ελαιοτριβείου. Ο Ισαάκ Νεύτων το 1687 κατάφερε να κινήσει ένα όχημα με την παραγωγή ατμού, το όχημα αυτό διέθετε μικρή ισχύ.

Το 1850 ο Fernihough επινόησε τον πρώτο αεριοστρόβιλο κινητήρα με την βοήθεια του ατμού. Ο Frank Whittle το 1930 κατοχύρωσε μια κατασκευή που θεωρείται ο πρώτος επιτυχημένος αεριοστρόβιλος κινητήρας για την κίνηση αεροσκάφους. Ο Γερμανός μηχανικός Hans von Ohain σχεδίασε και κατασκεύασε έναν κινητήρα ο οποίος δοκιμάστηκε με επιτυχία το 1939. Αυτή θεωρείται πρακτικά ως η πρώτη πτήση αεριωθούμενου αεροσκάφους. Από την εποχή εκείνη έχει αναπτυχθεί πολύ η επιστήμη και έχουν κατασκευαστεί αεροσκάφη τα οποία έχουν καταφέρει ακόμα και να σπάσουν το φράγμα του ήχου όπως είναι το SR-71 Blackbird της General Electric αλλά και το αγγλογαλικό Concorde.

Ο κινητήρας αερίωσης παράγει προωθητική δύναμη (ώση, thrust) προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, εξαναγκάζοντας μια μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Εφαρμόζει δηλαδή τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα “σε κάθε δράση αντιστοιχεί μια ίση και αντίθετη σε φορά, αντίδραση”. Ως δράση θεωρούμε τη δύναμη που ασκείται σε μία μάζα καυσαερίων προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα του αεροσκάφους. Ως αντίδραση στην έξοδο της μάζας αυτής λαμβάνεται μία δύναμη (ώση) προς το εμπρόσθιο τμήμα του κινητήρα και του αεροσκάφους. Το μέγεθος της δύναμης αυτής εξαρτάται από την ποσότητα της μάζας αερίου (ή αέρα) που εισέρχεται στον κινητήρα και το βαθμό της επιτάχυνσης των εξερχομένων αερίων. Για την καλύτερη κατανόηση της αρχής δράσης-αντίδρασης, θεωρούμε ως παράδειγμα ένα μπαλόνι γεμάτο αέρα και κρατάμε το στόμιό του κλειστό. Ο αέρας που εμπεριέχεται είναι υπό πίεση, η οποία ασκείται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις και πιέζει εξίσου τα εσωτερικά τοιχώματα του μπαλονιού. Στη συνέχεια, απελευθερώνοντας το στόμιο του μπαλονιού, αυτό χάνει αέρα και μετά από μία σύντομη πτήση καταλήγει στο έδαφος. Μια δύναμη είναι αντίθετη από αυτήν που ασκεί ο αέρας στα τοιχώματα του μπαλονιού και εξαναγκάζει τον αέρα να εξέλθει από το στόμιο του μπαλονιού, έτσι αυτό κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας κινητήρας αερίωσης κινείται κάτω από την επίδραση παρόμοιων δυνάμεων.

Στον κινητήρα αερίωσης τα καυσαέρια ωθούνται προς την εξαγωγή (δράση) και αυτά ασκούν μία δύναμη ή ώση (αντίδραση), στην αντίθετη κατεύθυνση, προς τον κινητήρα και το αεροσκάφος.

2.2 ΩΣΗ

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η ώση είναι μία δύναμη αντίδρασης. Μετρείται σε kp, pounds ή lbf. Εξαρτάται από την επιτάχυνση μίας μάζας αερίου, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Όσο πιο μεγάλη είναι η παραγόμενη ποσότητα αέρα και καυσαερίων, τόσο πιο μεγάλη θα είναι και η παραγόμενη ώση. Επίσης, η διαφορά της πίεσης των παραγόμενων καυσαερίων προς την ατμοσφαιρική πίεση, συμμετέχει στην δημιουργία της ώσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ώση ενός αεριοθούμενου κινητήρα διακρίνονται σε αυτά των λειτουργικών χαρακτηριστικών του κινητήρα και σε αυτά που έχουν σχέση με τις συνθήκες του περιβάλλοντος της πτήσης.

Οι λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση ενός κινητήρα αερίωσης είναι οι ακόλουθοι:

- Αριθμός στροφών κινητήρα
- Εισαγωγή αέρα
- Ροή καυσίμων
- Μείωση παραγόμενης ώσης με την μείωση συμπιεσμένου αέρα
- Θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Ψύξη του κινητήρα με την εισαγωγή νερού
- Ταχύτητα του αεροσκάφους

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την ώση του αεροσκάφους κατά την πτήση είναι οι ακόλουθοι:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα
- Πίεση περιβάλλοντος αέρα

2.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ- ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η λειτουργία του αεριοστρόβιλου περιγράφεται ως εξής: Ο αέρας εισέρχεται από την εισαγωγή (intake) και συμπιέζεται στο συμπιεστή (compressor) σε υψηλή πίεση. Στο θάλαμο καύσης (combustion chamber or burner) όπου οδηγείται ο συμπιεσμένος αέρας, προστίθεται καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και εκρήγνυται. Μέρος του έργου της εκτόνωσης που ακολουθεί κινεί το στρόβιλο (compressor turbine) που με τη σειρά του περιστρέφει το συμπιεστή μέσω ενός άξονα-ατράκτου (shaft) που υλοποιεί τη μηχανική σύνδεση. Το υπόλοιπο μέρος της εκτόνωσης αποτελεί το ωφέλιμο έργο εξόδου του κινητήρα. Το έργο αυτό, στους αεροπορικούς κινητήρες παίρνει τη μορφή προωθητικής ενέργειας με τη βοήθεια προωθητικού ακροφύσιου εξαγωγής (propelling exhaust nozzle).

Για να έχει νόημα η αρχή λειτουργίας του αεροστρόβιλου που περιγράψαμε, θα πρέπει η ενέργεια εκτόνωσης των καυσαερίων να υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του συμπιεστή και να περισσεύει ένα ικανό ποσό ενέργειας που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά περίπτωση. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει το εισερχόμενο αέριο να συμπιεστεί με τη βοήθεια του συμπιεστή ώστε να αυξηθεί η πυκνότητά του. Επίσης, προσθέτοντας καύσιμο (στον θάλαμο καύσης) γίνεται ανάφλεξη και έτσι αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία άρα και ο όγκος των καυσαερίων. Ο στρόβιλος παραλαμβάνει ενέργεια από αυτά (τα διογκωμένα και υψηλής ενέργειας καυσαέρια) για να κινήσει τον συμπιεστή, ενώ η ενέργεια που έχει απομείνει μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο εκτόνωσης. Το ωφέλιμο έργο αυξάνεται με την προσθήκη επιπλέον καυσίμου το οποίο όμως είναι ανάλογο της παροχής του αέρα.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αρχή λειτουργίας

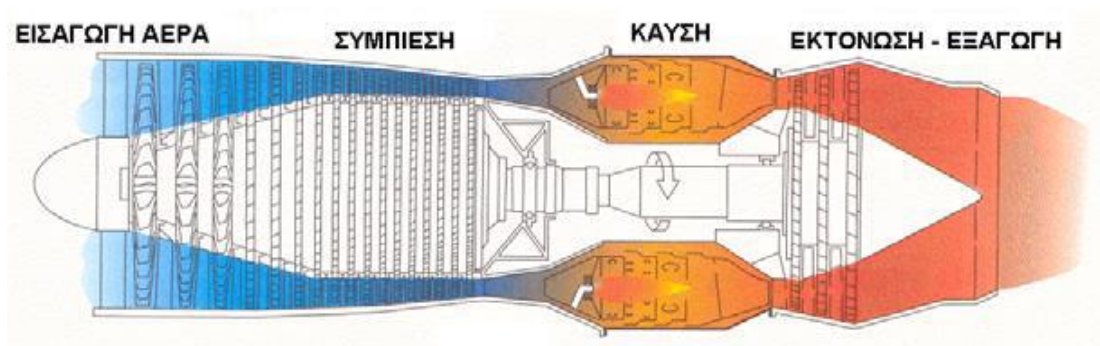
Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία και τις επιδόσεις του αεροστροβίλου είναι οι εξής:

- Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων (TET) η οποία εξαρτάται από την παροχή καυσίμου και τις συνθήκες καύσης.
- Ο λόγος πίεσης του συμπιεστή R/C ο οποίος εξαρτάται από την παροχή καυσίμου και επηρεάζει την παροχή του αέρα.
- Η διάμετρος της εισαγωγής η οποία επηρεάζει την παροχή αέρα.
- Η απόδοση (η) κάθε τμήματος (εισαγωγή, συμπιεστής, στρόβιλος, θάλαμος καύσης, εναλλάκτης, εξαγωγή).
- Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση και υγρασία)

Οι πρώτες σκέψεις λειτουργίας του αεροστροβίλου ήταν το ένα υπό σταθερό όγκο και το δεύτερο υπό σταθερή πίεση.

- **Λειτουργία αεροστροβίλου υπό σταθερό όγκο:** σε αυτά τα σύστημα οι κατασκευαστικές δυσκολίες ήταν αποτρεπτικές, διότι η προσθήκη θερμότητας σε σταθερό όγκο απαιτεί τη χρησιμοποίηση βαλβίδων για την απομόνωση του θαλάμου καύσης από τον συμπιεστή και το στρόβιλο. Έτσι η διαδικασία καύσης θα ήταν διακοπτόμενη, γεγονός που εξουδετερώνει το βασικό πλεονέκτημα της συνεχούς λειτουργίας του κινητήρα. Για αυτό τον λόγο απέρριψαν αυτό το σύστημα λειτουργίας.
- **Λειτουργία αεροστροβίλου με σύστημα καύσης υπό σταθερή πίεση** αυτή η λειτουργία έγινε αποδεκτή διότι έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- A) Η καύση είναι συνεχής διεργασία, έτσι δεν είναι αναγκαίο να έχουμε την χρήση βαλβίδων
B) Η ικανότητα του να λειτουργεί με πολύ μεγάλες παροχές μάζας που μας δίνει την ευελιξία να έχουμε κινητήρες με μεγάλη ισχύ.
Γ) Οι διεργασίες – μεταβολές (συμπύεση, καύση, εκτόνωση) γίνονται εντός του κινητήρα και η κάθε διεργασία ξεχωριστά σε κάθε τμήμα (Σχήμα 2.1) .



2.1 Σχήμα απλού ανοικτού κύκλου αεροστροβίλου [5]

2.4 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Τα κύρια εξαρτήματα-συνιστώσες των αεροστροβίλων είναι:

- Το τμήμα εισαγωγής (intake IN)
- Ο συμπιεστής (compressor C)
- Ο θάλαμος καύσης (Combustion Chamber CC or Burner B, Reheaters RH)
- Ο στρόβιλος (Turbine t, Compressor Turbine CT, Power Turbine PT)
- Το τμήμα εξαγωγής (Exhaust Nozzle EN)
- Το περίβλημα (Casing)
- Οι θερμικοί εναλλάκτες (Heat Exchanger HE, Intercooler IC)

Τμήμα εισαγωγής (Intake): Η εισαγωγή του αέρα, που πραγματοποιείται από ειδικό αεραγωγό εισαγωγής, αποτελεί τμήμα του αεροσκάφους και όχι του κινητήρα. Σκοπός του αεραγωγού είναι να κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα προς τον συμπιεστή με τις λιγότερες δυνατές απώλειες, λόγω τριβών και στροβιλισμών και με ομοιόμορφη ροή, να λειτουργεί σε όλες τις ταχύτητες και καταστάσεις της πτήσης. Να μειώνει τα ηχητικά κύματα που προέρχονται από τον συμπιεστή καθώς αυτός περιστρέφεται με υψηλή ταχύτητα (διαθέτουν στο εσωτερικό μικρές κυψέλες με ειδικό ήχο-απορροφητικό υλικό). Επίσης χρησιμεύουν για την αποφυγή αναρρόφησης ξένων σωμάτων από τον κινητήρα, γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται φίλτρα στην είσοδο του αεραγωγού εισαγωγής (χρήση πιο πολύ σε ελικόπτερα). Στο τελευταίο τμήμα του αεραγωγού, ακριβώς μπροστά από τον συμπιεστή, η ροή πρέπει να επιβραδυνθεί ώστε να αυξηθεί η στατική της πίεση (το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκτηση πίεσης). Το σχήμα και η θέση του αεραγωγού εξαρτάται από τον τύπο του αεροσκάφους. Σε ορισμένες περιπτώσεις τοποθετούνται ειδικά πτερύγια ώστε να ομαλοποιείται η τιμή του εισερχόμενου ρεύματος αέρα πριν την είσοδό του στον συμπιεστή.

Η αρχή λειτουργίας του αεριωθούμενου κινητήρα συνδέει την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα με την παραγωγή της απαιτούμενης ώσης για την πτήση του αεροσκάφους. Το εξάρτημα που παρέχει τις κατάλληλες ποσότητες αέρα στον κινητήρα είναι ο συμπιεστής.

Συμπιεστής (compressor): Σκοπός λειτουργίας του συμπιεστή είναι να συμπιέζει τον εισερχόμενο αέρα έτσι ώστε κατά την έξοδό του από τον συμπιεστή να έχει αποκτήσει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα. Έτσι, η παραγόμενη ώση θα είναι μεγάλη αφού ο κινητήρας θα μπορεί να χειρίζεται πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες αέρα, σε σχέση με τον μικρό του όγκο. Εκτός από την συμπίεση του εισερχόμενου αέρα, ο συμπιεστής μπορεί να παρέχει παροχή αέρα:

- για την ψύξη του τμήματος του στροβίλου,
- για την λειτουργία του συστήματος αντιπάγωσης,
- για τις ανάγκες της καμπίνας πληρώματος ή επιβατών και για την λειτουργία διάφορων εξαρτημάτων.

Η ποσότητα του αέρα που συμπιέζεται καθώς και η αύξηση της πίεσης εξαρτώνται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Όσο αυτή αυξάνεται επιτυγχάνεται και μεγαλύτερη συμπίεση. Βέβαια, η αύξηση της πίεσης εξαρτάται και από την θερμοκρασία εισαγωγής του αέρα. Όταν αυτή λαμβάνει χαμηλές τιμές, τότε η συμπίεση είναι μεγαλύτερη.

Θάλαμος καύσης (combustion chamber): Η βέλτιστη απόδοση κατά την διάρκεια της καύσης του μείγματος αέρα-καυσίμου καθορίζει τη συνολική απόδοση του κινητήρα, το λειτουργικό κόστος του αεροσκάφους και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους ρύπους που εκπέμπονται κατά την πτήση του. Ο βασικός στόχος του θαλάμου καύσης είναι να επιτύχει την καύση συγκεκριμένης ποσότητας μίγματος αέρα (που εξέρχεται από τον συμπιεστή) και καυσίμου. Τα παραγόμενα καυσαέρια αποδίδουν την θερμική τους ενέργεια στον στρόβιλο που βρίσκεται μετά τον θάλαμο καύσης. Η διαδικασία της καύσης πραγματοποιείται στον περιορισμένο χώρο του θαλάμου καύσης και πρέπει να επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή απώλεια πίεσης (ισοβαρή πίεση). Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την παροχή καυσίμου και την πραγματοποίηση της καύσης, είναι η έκχυση σταγονιδίων καυσίμου στο ρεύμα αέρα που διέρχεται. Όσο μικρότερη είναι η διατομή έκχυσης των σταγονιδίων καυσίμου, τόσο πιο αποδοτική είναι η καύση. Η ροή του αέρα που προορίζεται για την καύση διέρχεται μέσω οπών σε μεταλλικό διάφραγμα. Το καύσιμο εκχύνεται σε σωλήνες μικρής διατομής και το ένα άκρο τους είναι παράλληλο με αυτό της ροής του αέρα. Ο αέρας κατά την διαδρομή του σε αυτούς τους σωλήνες, αναμιγνύεται με το καύσιμο, θερμαίνονται και ατμοποιούνται στον θάλαμο καύσης. Η υπόλοιπη ποσότητα αέρα χρησιμοποιείται για την ψύξη.

Στρόβιλος (turbine): Ο πρωταρχικός σκοπός του στρόβιλου (turbine) είναι να παράγει την απαιτούμενη ισχύ για την περιστροφή του συμπιεστή. Ο στρόβιλος απορροφά ενέργεια από το ρεύμα των θερμών καυσαερίων κατά την έξοδό τους από τον θάλαμο καύσης και την μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια για την παραγωγή ισχύος ή ροπής. Γενικά ο στρόβιλος αποτελείται από το περίβλημα, το στάτορα, τα δακτύλιο και το ρότορα. Το περίβλημα περιβάλλει το στάτορα και το ρότορα. Φέρει φλάντζες στα δυο άκρα του για την σύνδεση του τμήματος του στρόβιλου με τα τμήματα του θαλάμου καύσης και του ακροφύσιου εξαγωγής. Ο στάτορας βρίσκεται προς την πλευρά του θαλάμου καύσης και δέχεται πρώτο τα καυσαέρια που εξέρχονται από αυτόν και είναι σταθερά πτερύγια που έχουν το σχήμα αεροτομής. Τα πτερύγια παρουσιάζουν στένωση, έτσι η ταχύτητα των καυσαερίων να αυξάνεται ώστε να έχουν αρκετά μεγάλη τιμή όταν φτάσουν στα κινητά πτερύγια. Τα πτερύγια ακόμα δίνουν στα καυσαέρια την κατάλληλη κατεύθυνση ώστε να αποδώσουν την μέγιστη ισχύ στον στρόβιλο. Ο δακτύλιος τοποθετείται στην εσωτερική και εξωτερική περιφέρεια των πτερυγίων του στάτορα. Ο ρότορας ή στροφείο λειτουργεί ως διαχύτης. Με τον τρόπο αυτό μετατρέπει το εισερχόμενο αέρα σε πίεση. Η διατομή δυο διαδοχικών κινητών πτερυγίων του στρόβιλου, μειώνεται προς το χείλος εκφυγής τους. Έτσι η ροή των καυσαερίων επιταχύνεται. Έτσι έχουμε μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας, δηλαδή συνθήκες κατάλληλες για την παραγωγή έργου.

Σύστημα εξαγωγής (exhaust nozzle): Το σύστημα εξαγωγής στους αεροστρόβιλους οδηγεί τα καυσαέρια, μετά την τελευταία βαθμίδα του στρόβιλου στην ατμόσφαιρα. Τα καυσαέρια μετά τον στρόβιλο βρίσκονται σε μια κατάσταση σχετικά υψηλής πίεσης και χαμηλής ταχύτητας. Σε έναν αεριοστρόβιλο είναι απαραίτητη, η παραγωγή ώσης, η αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων τα οποία ωθούνται στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς, το σύστημα εξαγωγής έχει ως σκοπό τη μεγιστοποίηση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων στην έξοδο και μείωση της πίεσης στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής. Ο σχεδιασμός της εξαγωγής των καυσαερίων έχει πολύ μεγάλη σημασία για τις επιδόσεις του κινητήρα. Το σχήμα και το μέγεθος της εξαγωγής επηρεάζουν την θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στον στρόβιλο, την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα, την πίεση και την ταχύτητα

των καυσαερίων που εξωθούνται στην ατμόσφαιρα. Η παραγόμενη ώση σε έναν βαθμό εξαρτάται από την διαμόρφωση της εξαγωγής. Το σύστημα εξαγωγής εκτείνεται από το τέλος των στροβίλων μέχρι το τέλος των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Ένα βασικό σύστημα εξαγωγής καυσαερίων περιλαμβάνει τρία βασικά συκροτήματα:

A) Τον κώνο εξαγωγής στον οποίο η βασική του λειτουργία είναι η διαμόρφωση του ρεύματος καυσαερίων τα οποία διέρχονται από τον στρόβιλο. Προστατεύει επίσης τα τελευταία τμήματα του άξονα του στροβίλου από τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων. Η κωνική του διαμόρφωση οδηγεί αποκλίνουσα διαδρομή για τα καυσαέρια, με συνέπεια την μείωση της ταχύτητάς τους, ενώ οι αντηρίδες ευθυγραμμίζουν την ροή των καυσαερίων.

B) Ο αγωγός εξαγωγής ο οποίος οδηγεί τα καυσαέρια στο ακροφύσιο εξαγωγής. Στις περιπτώσεις των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών, ο αγωγός εξαγωγής περιλαμβάνει και την μετάκαυση. Η χρήση του αγωγού προκαλεί απώλειες στην πίεση των καυσαερίων εξαιτίας των τριβών με τα τοιχώματα. Η σχεδίαση του αγωγού εξαγωγής προσπαθεί να διατηρήσει τη διάμετρο του αγωγού όσο πιο μεγάλη γίνεται, έτσι ώστε οι ταχύτητες να παραμένουν μικρές και την διατήρηση του μήκους του αγωγού στο ελάχιστο δυνατό.

Γ) Το ακροφύσιο εξαγωγής του οποίου το μέγεθος καθορίζει την ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων από τον κινητήρα. Στην περίπτωση συγκλίνοντος ακροφυσίου (μείωση διατομής) η ταχύτητα των καυσαερίων αυξάνεται, ενώ η πίεσή τους μειώνεται. Η έξοδός τους στην ατμόσφαιρα γίνεται με ταχύτητες, οι οποίες είναι πάντοτε μικρότερες ή ίσες με την ταχύτητα του ήχου ($Mach=1$).

Στην περίπτωση κατά την οποία η πίεση των καυσαερίων μετά τον στρόβιλο είναι αρκετά υψηλή, έτσι ώστε αυτά να μπορούν να επιταχυνθούν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του ήχου, χρησιμοποιείται συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο. Σε αυτήν την περίπτωση το ακροφύσιο περιλαμβάνει ένα τμήμα στο οποίο η διατομή μειώνεται (συγκλίνον) και ένα δεύτερο στο οποίο η διατομή αυξάνεται (αποκλίνον).

Στο πρώτο τμήμα του ακροφυσίου η ροή επιταχύνεται σε υποηχητικές ταχύτητες ενώ η πίεση μειώνεται. Στον λαιμό του ακροφυσίου (η ελάχιστη διατομή του ακροφυσίου), η ταχύτητα είναι ίση με αυτήν του ήχου. Το αποκλίνον τμήμα του ακροφυσίου μειώνει περισσότερο την πίεση, ενώ η ταχύτητα παίρνει υπερηχητικές τιμές ($Mach \geq 1$). Η μεγάλη ταχύτητα των καυσαερίων κατά την εξαγωγή τους έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλότερης ώσης. Σε πολλές περιπτώσεις η διατομή εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η επιτάχυνση ροής στο ακροφύσιο. Παρότι επιβαρύνουν τον σχεδιασμό του κινητήρα με την πολυπλοκότητά τους, χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη που πετούν με υψηλούς αριθμούς $Mach$.

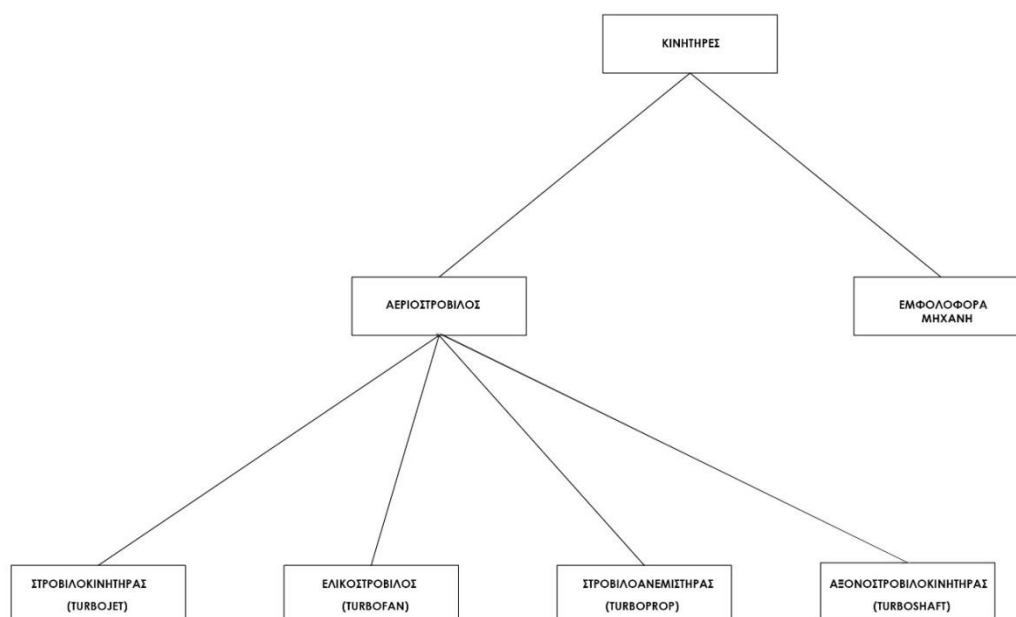
Οι κινητήρες των πολιτικών αεροσκαφών εφοδιάζονται με διαφοροποιημένο σύστημα εξαγωγής, όμως η λειτουργία τους ακολουθεί την ίδια αρχή με αυτή των μαχητικών αεροσκαφών, με την μόνη διαφορά να είναι ο τύπος του αεροστροβίλου που χρησιμοποιούν τα αεροσκάφη.

Θερμικοί εναλλάκτες (heat exchanger): Οι θερμικοί εναλλάκτες έχουν διαφορετική μορφή ανάλογα με τη θέση τους στο θερμοδυναμικό κύκλο. Οι πιο γνωστοί τύποι είναι ο κλασσικός ο αναγεννητικός, ο ενδιάμεσος ψύκτης και ο αντικαταστάτης του θαλάμου καύσης στους αεριοστρόβιλους κλειστού κύκλου.

Γενικά οι θερμικοί εναλλάκτες είναι του τύπου αέριο – αέριο ή αέριο – υγρό και διαφόρων τεχνολογιών , όπως σταυρωτοί , αντιρροής κ.λπ. Ανάλογα με τον τύπο η απόδοση τους κυμαίνεται από 0.75 – 0.90 .

2.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.

Η βασική ταξινόμηση των αεροπορικών κινητήρων είναι η εξής και φαίνεται στο παρακάτω δενδροειδές διάγραμμα (Σχήμα 2.2) :



2.2 Δενδροειδές διάγραμμα για την κατηγοριοποίηση των κινητήρων

Στην σημερινή εποχή ο αεριοστρόβιλος έχει πολλές εφαρμογές. Γι' αυτό τον λόγο έχουν αναπτυχθεί πολλά διαφορετικά είδη αεροστροβίλων με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένη χρήση. Έτσι λοιπόν ταξινομούνται με βάση ορισμένα κριτήρια:

1) Ανάλογα με την επανακυκλοφορία ή μη του εργαζόμενου μέσου:

- **Ανοικτού κύκλου** (open cycle) με συνεχή αναρρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα από την εισαγωγή και την εκτόνωσή του από την εξαγωγή στην ατμόσφαιρα.
- **Κλειστού κύκλου** (closed cycle) όπου η ίδια ποσότητα αερίου παραμένει πάντα μέσα στον κινητήρα, ανακυκλοφορεί και επαναλαμβάνει τον θερμοδυναμικό κύκλο. Ο θάλαμος καύσης αντικαθίσταται από θερμικό εναλλάκτη μέσω του οποίου προσδίδεται θερμότητα στο θερμοδυναμικό κύκλο.

2) Ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων / ατράκτων:

- **Μονού άξονα:** Ο συμπιεστής και ο στρόβιλος είναι μηχανικά συνδεδεμένοι πάνω στον ένα και μοναδικό άξονα. Έτσι ο στρόβιλος παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στον συμπιεστή για να λειτουργήσει. Στην περίπτωση αυτή, όταν πρόκειται για αεροπορικό κινητήρα η περίσσια ενέργεια εκτόνωσης (διαφορά μεταξύ της παραγόμενης ενέργειας και αυτής που απορροφά ο στρόβιλος για να οδηγήσει το συμπιεστή), μετατρέπεται σε ωφέλιμη κινητική ενέργεια καυσαερίων στο ακροφύσιο εξαγωγής. Όταν πρόκειται για βιομηχανικό κινητήρα ίδιος ο στρόβιλος μετατρέπει την περίσσια ενέργεια εκτόνωσης σε ωφέλιμη περιστροφική ενέργεια, μέσω του ενός και μοναδικού άξονα του αεριοστρόβιλου σε έναν μηχανισμό όπως είναι μια γεννήτρια.
- **Διπλού άξονα:** Σε αυτήν την περίπτωση, μέσω του πρώτου άξονα, ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης, οδηγεί το συμπιεστή χαμηλής πίεσης, ενώ μέσω του δεύτερου άξονα ο στρόβιλος υψηλής πίεσης οδηγεί τον συμπιεστή υψηλής πίεσης. Στους βιομηχανικούς αεροστροβίλους, όπως και στην περίπτωση του μονού άξονα, η πλεονάζουσα ενέργεια εκτόνωσης χρησιμοποιείται μέσω του ίδιου δεύτερου άξονα, για να περιστρέψει έναν μηχανισμό, ενώ στις αεροπορικές εφαρμογές απλά εκτονώνεται στο προωθητικό ακροφύσιο.
Οι δύο άξονες είναι ομοαξονικά διατεταγμένοι. Η προσθήκη του δεύτερου ζευγαριού (συμπιεστή- στροβίλου) γίνεται λόγω της ανάγκης για την αντιμετώπιση αεροδυναμικών προβλημάτων που προκύπτουν στην λειτουργία του συμπιεστή όταν αυτός απαιτείται να λειτουργεί σε υψηλούς λόγους πίεσης και παροχής.
- **Τριπλού άξονα:** Αυτή η περίπτωση είναι παρόμοια με του διπλού άξονα, μόνο που εδώ υπάρχει και ένας ενδιάμεσος τρίτος άξονας που συνδέει το επιπλέον ζευγάρι συμπιεστή/στροβίλου. Τριπλού άξονα είναι αεροστροβίλοι με πολύ υψηλό λόγο πίεσης, όπως αυτοί που χρησιμοποιούν τα σύγχρονα αεροσκάφη πολιτικά και μαχητικά υψηλών επιδόσεων.
- **Χρήση ελεύθερου στροβίλου ισχύος:** Σε αυτόν τον τύπο κινητήρα η πλεονάζουσα ενέργεια εκτόνωσης που έχουν τα καυσαέρια όταν φεύγουν από τον τελευταίο στρόβιλο του συμπιεστή, δεσμεύεται από έναν επιπλέον (ελεύθερο) στρόβιλο που είναι μηχανικά συνδεδεμένος μέσω ενός άξονα με καθοδηγούμενο μηχανισμό τον οποίο και περιστρέφει.

3) Ανάλογα με την χρήση θερμικών εναλλακτών ή επιπλέον θαλάμου καύσης:

- **Με προθέρμανση:** Ένας εναλλάκτης τύπου αέρα-αέρα, είναι τοποθετημένος ανάμεσα στον συμπιεστή και στο θάλαμο καύσης και χρησιμοποιείται για να προθερμαίνει το συμπιεσμένο αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης, εκμεταλλευόμενος την θερμότητα των καυσαερίων.
- **Ενδιάμεσης ψύξης:** Ένας εναλλάκτης τύπου αέρα-νερό τοποθετημένος ανάμεσα σε δυο συμπιεστές ή ανάμεσα σε δυο τύμπανα του ίδιου συμπιεστή χρησιμοποιείται για να ψύξει το συμπιεσμένο αέρα προτού αυτός συμπιεστεί ξανά για να φτάσει στην τελική τιμή του λόγου πίεσης.
- **Με αναθέρμανση ή μετάκαυση:** Στους βιομηχανικούς μερικές φορές υπάρχει, πριν τον τελευταίο στρόβιλο, ένας επιπλέον θάλαμος καύσης που ανεβάζει και πάλι την

θερμοκρασία των καυσαερίων στα επίπεδα της θερμοκρασίας εισόδου του στον στρόβιλο (ΤΕΤ). Στους αεροπορικούς από την άλλη, κάποιες φορές εκχύνουμε επιπλέον καύσιμο στον αγωγό εξαγωγής προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο και πάλι εξίσου μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων πριν αυτά εγκαταλείψουν το προωθητικό ακροφύσιο.

- **Με συνδυασμό των παραπάνω.**

4) **Ανάλογα με την εφαρμογή τους:**

Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet): Χρησιμοποιήθηκε σε μαχητικά αεροσκάφη υπερηχητικών ταχυτήτων πρώτης και δεύτερης γενιάς. Αυτός ήταν ο πρώτος και πιο απλός τύπος αεροπορικού αεροστροβίλου που αναπτύχθηκε.

Διαφέρει από τον αεριοπαραγωγό ως προς την προσθήκη μετά από τον στρόβιλο, του συστήματος εξαγωγής. Χρησιμοποιεί τη ροή των καυσαερίων που σχηματίζονται στο ακροφύσιο εξαγωγής (συγκλίνον ή συγκλίνον-αποκλίνον) ως το μοναδικό μέσο παραγωγής ώσης για την κίνηση του αεροσκάφους.

Οι κινητήρες αυτοί, επιτυγχάνουν μεγάλη επιτάχυνση μικρών σχετικά μαζών αέρα, ενώ η ταχύτητα των καυσαερίων μπορεί να αυξηθεί ύστερα και από μια πρόσθετη διεργασία καύσης, που αποκαλείται μετάκαυση.

Μειονέκτημα αυτού του κινητήρα είναι ότι στις χαμηλές ταχύτητες πτήσης η παραγόμενη ώση είναι αναλογικά μικρή. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται ικανοποιητική πίεση εισαγωγής αέρα στο συμπιεστή για την αποδοτική λειτουργία του. Αυτός είναι και ένας λόγος όπου ένα αεροσκάφος που χρησιμοποιεί στροβιλοαντιδραστήρα χρειάζεται μεγάλο διάδρομο απογείωσης, ώστε να αυξηθεί ικανοποιητικά η πίεση εισαγωγής και συνεπώς η ώση κατά την απογείωση του αεροσκάφους.

Άλλα σοβαρά μειονεκτήματα του στροβιλοαντιδραστήρα είναι η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και τα αυξημένα επίπεδα θορύβου (Σχήμα 2.3) .



2.3 Κινητήρας turbojet σε τομή [13]

Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan): Χρησιμοποιείται στα σύγχρονα αεροπλάνα υψηλών υποηχητικών, διηχητικών ή υπερηχητικών ταχυτήτων (μαχητικά αεροσκάφη τρίτης και άνω γενιάς και πολιτικά αεροσκάφη μέσων ή μεγάλων ταχυτήτων). Τα αεροσκάφη που τον φέρουν αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες πτήσης και σε μεγάλα ύψη, ενώ παράλληλα δεν απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλος διάδρομος για την απογείωση.

Χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι μετά από μια πρώτη συμπίεση το ρεύμα του ατμοσφαιρικού αέρα χωρίζεται σε δύο ρεύματα. Το ένα ρεύμα αυτό της παράκαμψης

παρακάμπτει τον πυρήνα του κινητήρα και εκτονώνεται απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα. Το άλλο ρεύμα εισέρχεται σε αυτόν και ακολουθεί την φυσιολογική πορεία πριν εκτονωθεί όπως και στους στροβιλοαντιδραστήρες. Ο λόγος της παροχής μάζας του αέρα που παρακάμπτει τον πυρήνα προς αυτήν που εισέρχεται, ονομάζεται λόγος παράκαμψης.

Η επιλογή του κατάλληλου στροβιλοανεμιστήρα, για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, εξαρτάται από τον λόγο παράκαμψης. Όταν ο λόγος των δυο ροών είναι μικρός χρησιμοποιείται κοινό ακροφύσιο, με τα δύο ρεύματα να επανασυνδέονται στο πίσω μέρος του κινητήρα όπου υπάρχει συνήθως και σύστημα μετάκαυσης. Όταν ο λόγος παράκαμψης μεγαλώνει τότε η αρχική συμπίεση γίνεται ουσιαστικά από έναν ανεμιστήρα που παίζει το ρόλο του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Ο ανεμιστήρας είναι μια έλικα στην οποία έχει τοποθετηθεί περιφερειακά περίβλημα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση της απόδοσης της έλικας κυρίως στις υψηλές στροφές καθώς και μείωση του θορύβου που προέρχεται από αυτήν. Επομένως, εάν η ροή στο εξωτερικό ρεύμα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο εσωτερικό χρησιμοποιούνται συνήθως δύο ξεχωριστά ακροφύσια ένα για κάθε ρεύμα.

Σημαντικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου κινητήρα είναι η αυξημένη παραγωγή ισχύος ανά μονάδα βάρους, η καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου και ο μειωμένος θόρυβος κατά την απογείωση (Σχήμα 2.4).



2.4 Κινητήρας turbofan [12]

Ελικοστρόβιλος (turboprop): Ο κινητήρας αυτός παράγει ελάχιστη ώση από το ρεύμα των καυσαερίων που διέρχεται μέσα από τον αεριοπαραγωγό, αντίθετα η ώση προέρχεται κυρίως από την περιστροφή μιας εξωτερικής έλικας. Η βέλτιστη απόδοση της έλικας επιτυγχάνεται σε πολύ μικρότερες ταχύτητες περιστροφής από αυτές της λειτουργίας του αεριοπαραγωγού. Απαιτείται λοιπόν η τοποθέτηση ενός μειωτήρα για να μεταφερθεί η ισχύς του κινητήρα. Το συγκρότημα είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους και βάρους.

Οι ελικοστρόβιλοι επιτυγχάνουν μικρή επιτάχυνση μεγάλων μαζών αέρα. Έχουν υψηλή προωθητική απόδοση, μικρή κατανάλωση καυσίμου σε μικρά ύψη και μικρές ταχύτητες πτήσης. Είναι κατάλληλοι για γρήγορη απογείωση με μεγάλα φορτία, λόγω του ότι αναπτύσσουν μεγάλη προωθητική δύναμη με μικρές ταχύτητες πτήσης. Χρησιμοποιούνται

από πολιτικά αεροσκάφη μικρών αποστάσεων και από μικρά ή μεσαία στρατιωτικά μεταγωγικά αεροσκάφη.

Βασικά μειονεκτήματά τους είναι η πολυπλοκότητα, το αυξημένο βάρος, οι αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης και οι περιορισμοί που θέτει στην ταχύτητα πτήσης το όριο περιστροφής της έλικας (Σχήμα 2.5) .



2.5 Κινητήρας turboprop σε αεροσκάφος A-400 [11]

Αθόδυλος ή κινητήρας ramjet: Είναι ουσιαστικά ένας πολύ απλός πτητικός κινητήρας διότι δεν έχει κινητά μέρη, ενώ είναι κατάλληλος μόνο για πολύ μεγάλες ταχύτητες πτήσης. Αποτελείται από τους ψεκαστήρες καυσίμου, τον ρυθμιστή καυσίμου και τους συγκρατητές της φλόγας, που βρίσκονται ουσιαστικά μέσα σε έναν σωλήνα με συγκλίνουσα-αποκλίνουσα εισαγωγή και συγκλίνουσα – αποκλίνουσα εξαγωγή.

Η απουσία συμπίεσής δεν επιτρέπει την εισαγωγή επαρκούς αέρα στον αθόδυλο στις χαμηλές ταχύτητες. Έτσι πρέπει να κινηθεί με μεγάλη ταχύτητα ώστε να εμφανιστεί έντονο το φαινόμενο αύξησης της πίεσης αποκοπής, προτού να είναι σε θέση να παράγει ώση. Σε αυτήν την περίπτωση της πολύ μεγάλης ταχύτητας πτήσης 2,5-3Μ ο εισερχόμενος αέρας οδηγείται αρχικά στο συγκλίνοντα αγωγό εισαγωγής όπου αποκτά ταχύτητες 1Μ, ενώ στον αποκλίνοντα αγωγό εισαγωγής ο αέρας επιβραδύνεται σε ταχύτητες μικρότερες του 1Μ και ταυτόχρονα συμπιέζεται εντός αυτού. Με την βοήθεια κανονικών και πλαγίων κρουστικών κυμάτων γίνεται η καύση στον θάλαμο καύσης. Επειδή δεν υπάρχει συμπίεσής δεν υπάρχει ανάγκη στροβίλου και έτσι, το καυσαέριο μετά το θάλαμο καύσης, εισέρχεται υπό πλήρη πίεση και θερμοκρασία στο προωθητικό ακροφύσιο, από το οποίο εξέρχεται σαν ισχυρή ταχεία δέσμη, που προκαλεί ισχυρή ωστική δύναμη.

Η ώση λοιπόν αναπτύσσεται, λόγω του ότι η ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της εισόδου, και η διαφορά αυτή προκαλείται μόνο δια της θερμικής ενέργειας του καυσίμου χωρίς την παρεμβολή κάποιας μηχανής, και λόγω της επιταχυνόμενης εντός του αποκλίνοντος τμήματος αγωγού εισαγωγής συμπίεσης του αέρα, που οφείλεται στην πολύ μεγάλη ταχύτητα πτήσης.

Ο αθόδυλος, παρά την απλούστερη κατασκευή του, δε βρήκε χρήση στο πεδίο των αεροπορικών πτήσεων, κυρίως γιατί το κινούμενο με αυτόν κινητήρα αεροσκάφος δεν μπορεί να ξεκινήσει μόνο του, αφού ο κινητήρας δεν μπορεί να εργασθεί αυτοδύναμα χωρίς το έντονο φαινόμενο της ανακοπής. Κατ' επέκταση, το αεροσκάφος έχει ανάγκη κάποιου άλλου

δεύτερου κινητήρα για την επιτάχυνσή του μέχρι την ελάχιστη απαιτούμενη ταχύτητα πτήσης. Επίσης απαιτεί μεταβλητές διατομές αγωγού εισόδου και ακροφύσιο εξόδου για τη δυνατότητα προσαρμογής σε διάφορες συνθήκες πτήσης.

Ο κινητήρας ramjet χρησιμοποιείται συνήθως σε πυραύλους επιφάνειας– επιφάνειας εναντίων μεγάλων ναυτικών στόχων όπως αεροπλανοφόρα.

Πύραυλος: Ανήκει στην κατηγορία των κινητήρων που δεν απαιτούν την εισαγωγή σε αυτούς αέρα. Πρόκειται λοιπόν για κινητήρα στον οποίο ένα στερεό ή ένα υγρό καύσιμο και ένα οξειδωτικό μέσο αντιδρούν στον θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, τα υψηλής πίεσης καυσαέρια εκτονώνονται σε ένα ακροφύσιο. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τον πύραυλο με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες προκαλώντας έτσι την προώθησή του. Ο πύραυλος δεν χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση. Μεταφέρει στο εσωτερικό του δεξαμενές οξυγόνου, το οποίο αναμιγνύεται με το καύσιμο παράγοντας την απαιτούμενη ποσότητα καυσαερίων για την κίνησή του. Έτσι, έχει την δυνατότητα να κινείται σε οποιοδήποτε ύψος, μέσα και έξω από την ατμόσφαιρα.

Στους πυραύλους υγρού καυσίμου, το σύνηθες καύσιμο είναι η υδραζίνη και συνηθέστερο οξειδωτικό το υγρό οξυγόνο ή το νιτρικό οξύ. Ο πύραυλος στερεών καυσίμων έχει αντικαταστήσει τον παραπάνω σε αρκετές εφαρμογές, όπως στην κίνηση βλημάτων, διαστημικών οχημάτων και στην παροχή περίσσειας ισχύος σε αεροσκάφη κατά την απογείωση. Συνήθως χρησιμοποιείται βαλιστίτης, ως στερεό καύσιμο, που αναμειγνύεται με το οξειδωτικό. Χαρακτηριστικό της λειτουργίας τους είναι ότι η απόδοση τους βελτιώνεται σε μεγαλύτερα ύψη.

Αξονοστροβιλοκινητήρες: Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, αντλητικά συγκροτήματα, πλοία και τρένα. Τα ελικόπτερα αποτελούν μια εξαίρεση αεροπορικής εφαρμογής που κάνει την χρήση αξονοστροβιλοκινητήρα. Χαρακτηριστικό αυτών των αεροστροβίλων είναι ότι όλη σχεδόν η ωφέλιμη ενέργεια παρέχεται σαν περιστροφική στον άξονα εξόδου. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τον αγωγό εξαγωγής με την μικρότερη δυνατή ταχύτητα / ενέργεια.

2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΥΠΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι τύποι των αεριοστροβίλων κινητήρων παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τα οποία συνοπτικά είναι:

- Ο **στροβιλοαντιδραστήρας**, είναι ο πιο απλός αεριοστροβίλος κινητήρας, διότι κατασκευάζεται, συντηρείται με ευκολία και κοστίζει λιγότερο. Όμως, παρουσιάζει και μειονεκτήματα τα οποία είναι:
 1. Οι χαμηλές ταχύτητες πτήσης,
 2. Η παραγόμενη ώση είναι αναλογικά μικρή,
 3. Χρειάζεται μεγάλο διάδρομο απογείωσης,
 4. Απαιτούν αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.

Επίσης, συγκριτικά με έναν ελικοφόρο κινητήρα ο στροβιλοαντιδραστήρας επιτυγχάνει μικρότερη απόδοση σε ταχύτητες πτήσης, κάτω των 750 km/h.

- Ο **ελικοστρόβιλος** κινητήρας παρουσιάζει ένα μεγάλο πλεονέκτημα το οποίο είναι να επιτυγχάνει την καλύτερη ειδική κατανάλωση σε σύγκριση με οποιονδήποτε άλλο κινητήρα άλλου τύπου. Η παραγόμενη ώση λόγω της συμβολής της έλικας είναι μεγάλη και το αεροσκάφος έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά στην απογείωση (μικρός διάδρομος) και στην άνοδο. Επιπλέον, η απόδοση του είναι ικανοποιητική ακόμη και σε σχετικά μεγάλα ύψη πτήσεων (6.000 m). Τα παραπάνω πλεονεκτήματα μειώνονται όταν αυξάνεται η ταχύτητα (άνω των 650 km/h) και το ύψος της πτήσης (άνω των 7000 m).
Οι ελικοστρόβιλοι κινητήρες έχουν το μειονέκτημα ότι όλη σχεδόν η ενέργεια των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την κίνηση του έλικα. Για το λόγο αυτό, η προσφερόμενη από τα καυσαέρια ώση είναι πολύ μικρή. Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα του ελικοστρόβιλου κινητήρα είναι η πολυπλοκότητα της κατασκευής του που κάποιες φορές επιφέρει προβλήματα και στη συντήρησή του. Τέλος, το βάρος του είναι μεγαλύτερο από ένα στροβιλοαντιδραστήρα με ανάλογη ώση.
- Ο **αξονοστρόβιλος** κινητήρας έχει ελάχιστη παραγωγή ώσης, διότι παρέχει ισχύ σχεδόν αποκλειστικά στον άξονα του και παρουσιάζει σχεδόν τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με τον **ελικοστρόβιλο** κινητήρα λόγω της μεγάλης ομοιότητας των δύο κινητήρων
- Ο **στροβιλοανεμηστήρας** επιτυγχάνει μικρότερη μάζα αέρα από τον **ελικοστρόβιλο** αλλά μεγαλύτερη από το **στροβιλοαντιδραστήρα**. Επίσης, αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πτήσης και σε μεγάλα ύψη (όπως ο στροβιλοαντιδραστήρας), ενώ παράλληλα δεν απαιτεί μεγάλο διάδρομο για την απογείωση (όπως και ο ελικοστρόβιλος). Επιπρόσθετα, ο περιορισμός της ταχύτητας πτήσης του ελικοστρόβιλου σε τιμές από 550 – 650 km/h δεν ισχύει. Επιπλέον, σημαντικά πλεονεκτήματα θεωρούνται η αυξημένη παροχή ισχύος ανά μονάδα βάρους, η καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου και ο μειωμένος θόρυβος κατά την απογείωση και την προσγείωση.
- Τέλος, το βασικό πλεονέκτημα του **πυραυλοστρόβιλου** είναι ο μικρός του όγκος και βάρος, ενώ το μειονέκτημα του είναι ότι παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

3.1 ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Τα μέτρα ασφαλείας αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι για κάθε τεχνική εργασία τα οποία διασφαλίζουν την ασφάλεια του προσωπικού καθώς επίσης και του εξοπλισμού συντήρησης. Στο τομέα συντήρησης αεροπορικών κινητήρων ως απαραίτητα μέτρα ασφαλείας θεωρούνται τα εξής :

- Η χρήση γαντιών (πυρίμαχα σε ειδικές περιπτώσεις)
- Υποδήματα ασφαλείας
- Προστατευτικά γυαλιά (ειδικά κατά την χρήση εξοπλισμού με υδραυλική ισχύ)
- Κράνος
- Ωτοασπίδες
- Ανακλαστικό γιλέκο
- Μάσκα (κατά την εφαρμογή υγρών / λιπαντικών) σε μέρη του κινητήρα
- Κατάλληλη φόρμα εργασίας τεχνικού
- Γείωση στον εξοπλισμό συντήρησης (όπου απαιτείται)
- Αποθήκευση των εύφλεκτων υλικών σε ασφαλές σημείο μακριά από τον χώρο εργασίας
- Σημάνσεις σε μέσα πυροπροστασίας και σε ηλεκτρικές πηγές για την αποφυγή ατυχημάτων
- Διακριβωμένος εξοπλισμός που να φέρει την σήμανση CE

Η τήρηση των μέτρων ασφαλείας από το προσωπικό που εργάζεται συμβάλει αποτελεσματικά στην μείωση του δείκτη ατυχημάτων ή ακόμη και την εξάλειψη αυτού. Τα ατυχήματα δεν προκαλούνται μόνο από την μη τήρηση των μέτρων ασφαλείας αλλά μπορούν να προέρθουν και από εξωγενείς παράγοντες που αφορούν τον ίδιο τον άνθρωπο (κούραση, κατάθλιψη, κατανάλωση αλκοόλ- ναρκωτικών ουσιών,οικογενειακά προβλήματα). Την τελευταία δεκαετία έχει δοθεί ιδιαίτερο βάρος στην προστασία και την απόδοση του ανθρώπινου παράγοντα. Συγκεκριμένα σύγχρονες μελέτες πάνω στον ανθρώπινο παράγοντα, στο αεροπορικό περιβάλλον, δείχνουν τη σημασία και την βαρύτητα που πρέπει να δοθεί στον ίδιο τον άνθρωπο ώστε να εκτελέσει με ασφάλεια την οποιαδήποτε εργασία του ανατεθεί.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Ο όρος συντήρηση, όταν αναφερόμαστε σε αεροπορικούς κινητήρες είναι τόσο γενικός που καλύπτει καθημερινές εργασίες, διάρκειας λίγων λεπτών, μέχρι και την γενική επισκευή του κινητήρα, η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και διαρκεί αρκετούς μήνες. Η διάκριση του τύπου της συντήρησης, η οποία πραγματοποιείται σε ένα κινητήρα, βασίζεται στο εάν ο κινητήρας βρίσκεται η όχι στο αεροσκάφος. Έτσι η συντήρηση γραμμής (line maintenance) πραγματοποιείται χωρίς να απομακρυνθεί ο κινητήρας από αυτό. Αντίθετα, για τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) και την γενική επισκευή (overhaul), απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος. Οι συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου

γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο, κοντά στην γραμμή πτήσης. Αντίθετα, οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αποστολή του κινητήρα σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μέρος των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου, πραγματοποιείται στα κέντρα γενικής επισκευής. Βασική αιτία γι' αυτό αποτελεί συνήθως η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού.

3.2.1 Συντήρηση επιπέδου γραμμής (1^{ος} βαθμός συντήρησης)

Η συντήρηση επιπέδου γραμμής αναφέρεται στις καθημερινές εργασίες που γίνονται στον κινητήρα. Εξασφαλίζει την καλή κατάσταση του κινητήρα, ενώ εντοπίζει πιθανές δυσλειτουργίες. Περιλαμβάνει εργασίες στην γραμμή πτήσεων (επιθεωρήσεις, αλλαγή λιπαντικών, κλπ.), ορισμένες περιοδικές επιθεωρήσεις, απλές δοκιμές και αφαιροτοποθετήσεις αεροκινητήρα από το σκάφος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αντικαταστάσεις εξαρτημάτων, καθώς και οι ρυθμίσεις με την χρήση ειδικών συσκευών που επαληθεύουν την ορθή λειτουργία τους. Αυτό επιτυγχάνεται με δοκιμή του αεροκινητήρα επί του αεροσκάφους σε στοιχεία λειτουργίας, τέτοια που να ορίζει ο κατασκευαστής, ώστε να πιστοποιήσει την λειτουργικότητα των συστημάτων όπως:

- Σύστημα λίπανσης
- Σύστημα καυσίμου
- Ηλεκτρικό σύστημα
- Σύστημα ελέγχου (υπολογιστής αεροκινητήρα)

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια **θερμής εκκίνησης**, είναι πιθανόν οι αυξημένες θερμοκρασίες των καυσαερίων να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στο θερμό τμήμα του κινητήρα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποτελέσει αιτία εκτεταμένης αποσυναρμολόγησης του κινητήρα (ή τουλάχιστον του θερμού τμήματος), η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί στο 2^ο βαθμό συντήρησης.

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της επιθεώρησης γραμμής είναι η έγκαιρη αναγνώριση δυσλειτουργιών, πριν αυτές προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στον κινητήρα (fault isolation – troubleshooting). Τα εγχειρίδια συντήρησης γραμμής περιλαμβάνουν πίνακες, οι οποίοι αναφέρουν πιθανές αιτίες για δυσλειτουργίες, οι οποίες προκύπτουν κατά την χρήση του κινητήρα. Οι ίδιοι πίνακες προτείνουν και διορθωτικές ενέργειες. Δεν είναι φυσικά δυνατόν να καλυφθούν όλα τα πιθανά προβλήματα σε αυτούς τους πίνακες. Αποτελούν όμως ένα σημαντικό βοήθημα, το οποίο αν συνδυασθεί με καλή γνώση του κινητήρα και των συστημάτων του και την εμπειρία του τεχνικού μπορεί να οδηγήσει γρήγορα στον εντοπισμό και την αποκατάσταση της δυσλειτουργίας.

Οι σύγχρονοι κινητήρες παρέχουν συνήθως αυτόματα, ενδείξεις σφαλμάτων. Αυτό γίνεται με την χρήση αισθητήρων, μετατροπέων και καταγραφικών. Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται από υπολογιστή, ο οποίος παρέχει συνήθως και κάποια διάγνωση. Μία από τις κύριες διαγνωστικές μεθόδους, είναι η παρακολούθηση της επίδοσης του κινητήρα, σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας του. Οι μετρήσεις του υπολογιστή του αεροσκάφους μεταφέρονται σε υπολογιστή στη γραμμή πτήσης, όπου επεξεργάζονται με την χρήση ειδικού λογισμικού (engine condition trend monitoring software). Η σύγκριση με μετρήσεις αναφοράς επιτρέπει

την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, αναφορικά με την κατάσταση του κινητήρα και πιθανά προβλήματα που αυτός παρουσιάζει.

Ο καθαρισμός του κινητήρα αποτελεί ένα από τα κύρια καθήκοντα της συντήρησης γραμμής. Με το καθαρισμό απομακρύνονται υπολείμματα λιπαντικού, επικαθήσεις κ.α. με αποτέλεσμα την βελτίωση των επιδόσεων του κινητήρα. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο κινητήρας λειτουργεί κοντά σε θάλασσα, ο συχνός καθαρισμός είναι ιδιαίτερα απαραίτητος για την αποφυγή φαινομένων διάβρωσης, τα οποία προκαλούνται από το αλάτι. Ο καθαρισμός γίνεται συνήθως με απιονισμένο νερό ή άλλα καθαριστικά συγκεκριμένων προδιαγραφών. Ο τρόπος καθαρισμού διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Σε ελικοφόρους κινητήρες γίνεται σε χαμηλές στροφές χωρίς τη λειτουργία του κινητήρα (motoring), ενώ σε μεγάλους στροβιλοαντιδραστήρες (turbojet ή turbofan) ο καθαρισμός απαιτεί την λειτουργία του κινητήρα στο 60% περίπου των ονομαστικών στροφών του.

Σε περιπτώσεις εκτεταμένων επικαθήσεων στο συμπιεστή, οι οποίες δεν μπορούν να απομακρυνθούν με “υγρό” καθαρισμό, αυτός γίνεται με την χρήση στερεών σωματιδίων (abrasive grit blasting). Το υλικό καθαρισμού περιέχει συνήθως κατεργασμένα κελύφη καρυδιών ή και πυρήνες βερίκοκων.

Μια οικογένεια συσκευών, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τη εξέταση της κατάστασης του κινητήρα είναι γνωστή ως Jetcal Analyzers. Οι συσκευές αυτές μετρούν βασικές παραμέτρους του κινητήρα, όπως θερμοκρασία (EGT) και πίεση εξόδου καυσαερίων, ταχύτητες περιστροφής, παροχή καυσίμου κ.α. Περιλαμβάνουν συνήθως τις απαραίτητες καλωδιώσεις και όργανα, τα οποία επιτρέπουν τη γρήγορη σύνδεση και λήψη μετρήσεων από τον κινητήρα στην γραμμή πτήσης. Η ανάλυση των μετρήσεων επιτρέπει :

- Έλεγχο του συστήματος μέτρησης της θερμοκρασίας (EGT).
- Άμεσο προσδιορισμό ελαττωματικών θερμοστοιχείων.
- Έλεγχο της συνέχειας των καλωδιώσεων.
- Έλεγχο του συστήματος μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής

3.2.2 Συντήρηση επιπέδου συνεργείου (2^{ος} βαθμός συντήρησης)

Στον 2^ο βαθμό συντήρησης πραγματοποιούνται οι ακόλουθες εργασίες:

- Μερική ή ολική αποσυναρμολόγηση / συναρμολόγηση τμημάτων του αεροκινητήρα
- Επιθεώρηση αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Καθαρισμός των αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Επισκευή των αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Έλεγχος στεγανότητας των συγκροτημάτων των τριβέων του αεροκινητήρα
- Έλεγχος ακραίων θέσεων διαφόρων εξαρτημάτων του αεροκινητήρα (διαδικασία **rigging**)
- Preservation εξαρτημάτων / παρελκόμενων του αεροκινητήρα
- Δοκιμή του αεροκινητήρα στον χώρο του δοκιμαστηρίου (κλειστού- τύπου σήραγγας ή ανοικτό)
- Borescope / Fiberscope έλεγχος στα θερμά και ψυχρά τμήματα του κινητήρα

Ζημιά από εξωτερικό αντικείμενο / εσωτερικό αντικείμενο (Foreign object damage-FOD/ χτύπημα από πτηνό) : Οι ζημιές που προκαλούνται από την αναρρόφηση στερεών αντικειμένων στον κινητήρα ποικίλουν σημαντικά. Μόνο η επιθεώρηση του κινητήρα μπορεί να δείξει το μέγεθος και την έκταση της ζημιάς. Σε πολλές περιπτώσεις η αποκατάσταση της ζημιάς μπορεί να γίνει επί του αεροσκάφους (πχ όταν αυτή είναι μικρή και περιορίζεται στις πρώτες βαθμίδες των συμπιεστών με λιμάρισμα “blending”). Σε περιπτώσεις εκτεταμένων ζημιών απαιτείται μερική ή ολική αποσυναρμολόγηση τμημάτων του κινητήρα.

Καταπόνηση κινητών ή σταθερών πτερυγίων καθώς επίσης και του θαλάμου καύσης (erosion out of limits / burn through out of limits / cruck out of limits)

3.2.3 Συντήρηση επιπέδου εργοστασίου (3^{ος} βαθμός συντήρησης)

Ο αεροκινητήρας αποστέλλεται σε εργοστάσιο γενικής επισκευής από τον 2^ο βαθμό συντήρησης, είναι γενικά μια χρονοβόρα διαδικασία, η οποία φυσικά πρέπει να περιορίζεται όσο το δυνατόν λιγότερο, μια και σημαίνει πολλές φορές αδυναμία πραγματοποίησης πτητικού έργου από το αεροσκάφος. Οι λόγοι για αφαίρεση του κινητήρα μπορεί να συνοψιστούν ως εξής :

Ολοκλήρωση του χρόνου λειτουργίας μεταξύ γενικών επισκευών (Time Between Overhaul- TBO) : Στους στροβιλοκινητήρες ο κατασκευαστής δεν καθορίζει για όλο τον κινητήρα, αλλά παρέχει διαφορετικούς χρόνους γενικής επισκευής για κάθε υποσυγκρότημα (module) του κινητήρα. Έτσι το θερμό τμήμα έχει διαφορετικούς χρόνους γενικής επισκευής από το συγκρότημα των παρελκόμενων (Accesory drive Gearbox-AGB). Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει την εκμετάλλευση του κινητήρα, αντικαθιστώντας μόνο το υποσυγκρότημα που έχει προσεγγίσει το χρόνο γενικής επισκευής. Ορισμένοι σύγχρονοι κινητήρες δεν έχουν προδιαγεγραμμένο χρόνο γενικής επισκευής. Αυτή εκτελείται μόνο σε περίπτωση ιδιαίτερων ευρημάτων κατά τις προδιαγεγραμμένες επιθεωρήσεις. Αυτή η πολιτική συντήρησης είναι γνωστή και ως On-condition.

Η γενική επισκευή ενός στροβιλοκινητήρα απαιτεί εκτεταμένο εξοπλισμό ειδικών εργαλείων, ιδιοσυσκευών μέτρησης, μέσων επιθεώρησης και επισκευής. Όπως για παράδειγμα συσκευές αμμοβολών και συσκευές μη καταστροφικού ελέγχου. Αυτά συνήθως παρέχονται σε εξειδικευμένα κέντρα (εργοστάσια γενικής επισκευής), τα οποία διαθέτουν και το απαραίτητο επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό υποστήριξης. Τα κέντρα αυτά είναι εξουσιοδοτημένα και συνεργάζονται με τον κατασκευαστή του κινητήρα.

Τέλος, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για πτήσεις των επιβατικών αεροσκαφών σε παγκόσμιο επίπεδο, η πολιτική συντήρησης των αεροπορικών εταιριών είναι να δημιουργεί κέντρα που συνδυάζουν και τους 3 ανωτέρω βαθμούς συντήρησης maintenance-repair-overhaul (M.R.O.).

3.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η αποσυναρμολόγηση των αεροστροβίλων μπορεί να γίνει σε οριζόντια ή κατακόρυφη κλίση. Η οριζόντια κλίση χρησιμοποιείται συνήθως για μικρότερους κινητήρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πιθανόν η κλίση να φέρει τροχούς, οι οποίοι επιτρέπουν την μετακίνησή της, ενώ και ο κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται (rollover) για ευκολότερη πρόσβαση στα διάφορα εξαρτήματά του. Μεγαλύτεροι κινητήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφες σταθερές κλίνες, με το ψυχρό τμήμα προς τα κάτω. Η πρόσβαση σε όλα τα σημεία του κινητήρα επιτυγχάνεται με σκαλωσιές. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις, όπου η κατακόρυφη κλίση είναι τοποθετημένη σε ανελκυστήρα. Ο κινητήρας αποσυναρμολογείται στα κύρια υποσυγκροτήματά του, τα οποία τοποθετούνται σε ειδικές κλίνες, πριν την περαιτέρω αποσυναρμολόγησή τους (εάν απαιτείται). Για την ανύψωση των υποσυγκροτημάτων χρησιμοποιείται κατά κανόνα γερανός.

3.3.1 Συντήρηση και επισκευή ψυχρού τμήματος

Ορισμός: Η συντήρηση και επισκευή του ψυχρού τμήματος ενός αεροκινητήρα περιλαμβάνει τον έλεγχο των βαθμίδων του συμπιεστή για την εύρεση και την επιδιόρθωση μιας βλάβης.

Οι πρώτες βαθμίδες του συμπιεστή είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε ζημιές, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από την αναρρόφηση αντικειμένων αλλά και άμμου, ή άλλων μικρών σωματιδίων (erosion). Τα συνήθη ευρήματα είναι ρωγμές και διαφόρων ειδών αμυχές (nicks, dents). Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ζημιές μπορούν να επισκευασθούν με αφαίρεση υλικού και εν συνεχεία κατεργασία της περιοχής, έτσι ώστε να αποκτήσει λεία μορφή. Η διαδικασία αφαίρεσης υλικού (blending) πρέπει να γίνεται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εκτελείται συνήθως σε εφαρμοστήριο με την χρήση ειδικών πετρών για την αφαίρεση του υλικού και ψηλού γυαλόχαρτου για την ανάκτηση του φινιρίσματος της επιφάνειας. Δεν πρέπει εν γένει να χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητα εργαλεία, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν συγκέντρωση τάσεων, ή και να οδηγήσουν σε φθορές σε γειτονικές περιοχές. Η επισκευή ολοκληρώνεται με την επιθεώρηση της κατεργασμένης περιοχής, με κάποια μέθοδο μη καταστροφικού ελέγχου (συνήθως MPI ή FPI), έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η απουσία ρωγμών. Σε περίπτωση φυσικά κατά την οποία η αρχικώς διαπιστωθείσα φθορά υπερβαίνει τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή όρια, το πτερύγιο απορρίπτεται.

Εκτός από τα πτερύγια, οι φθορές είναι δυνατόν να παρουσιασθούν και στους δίσκους των συμπιεστών. Αν και η επιθεώρηση των δίσκων ελέγχει όλη την επιφάνειά τους, είναι σύνηθες να εμφανίζονται προβλήματα σε περιοχές τοποθέτησης των πτερυγίων (τις ονομαζόμενες «περιστεροουρές» - dovetail slots). Η επαφή του πτερυγίου με τον δίσκο είναι πιθανόν να προκαλεί φθορές στην επιφάνεια του δίσκου (fretting wear). Συνήθης επισκευή σε αυτή την περίπτωση είναι ο «βομβαρδισμός» της περιοχής με σφαιρίδια (shot-peening).

3.3.2 Συντήρηση και επισκευή θερμού τμήματος

Ορισμός: Η συντήρηση και επισκευή του θερμού τμήματος ενός αεροκινητήρα περιλαμβάνει τον έλεγχο του θαλάμου καύσης αλλά και του στροβίλου για την εύρεση και την επιδιόρθωση μιας βλάβης.

1. Θάλαμος καύσης

Τα συνήθη ευρήματα κατά την επιθεώρηση των θαλάμων καύσης περιλαμβάνουν ρωγμές, «καψίματα» (burns), ενδείξεις υπερθέρμανσης (hot spots), στρεβλώσεις (warpage) και μηχανική διάβρωση (erosion). Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συγκολλήσεις κατά την κατασκευή του θαλάμου είναι πιθανόν να είναι ατελείς (π.χ. μεγάλη ποσότητα του υλικού συγκόλλησης γύρω από την ραφή), οπότε απαιτείται η επανασυγκόλληση της περιοχής. Η επισκευασιμότητα ενός ρωγματομένου θαλάμου καύσης, εξαρτάται από την έκταση, την θέση και τον αριθμό των ρωγμών. Η αποκατάσταση των ρωγμών γίνεται συνήθως με συγκόλληση (inert gas, electron beam ή akku-welding). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται υλικό συγκόλλησης συμβατό με το υλικό του εξαρτήματος, ενώ συνήθως απαιτείται θερμική κατεργασία πριν και μετά την επισκευή.

Οι θάλαμοι καύσης «κινδυνεύουν» επίσης από τους ψεκασθήρες καυσίμου. Διαταραχή της ροής καυσίμου σε έναν ψεκαστήρα, μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη του καυσίμου πολύ κοντά ή και σε άμεση επαφή με τους δακτύλιους (liners) του θαλάμου καύσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί επέκταση της φλόγας στην περιοχή του στροβίλου, με καταστρεπτικές φυσικά συνέπειες για την σταθερή βαθμίδα ή και τα κινητά πτερύγια του στροβίλου.

2. Τμήμα στροβίλων

Το τμήμα του στροβίλου ενός αεροστροβίλου, λειτουργεί σε ψηλές θερμοκρασίες και κάτω από σημαντικές τάσεις. Είναι λοιπόν σύνηθες να παρουσιάζει ρωγμές, καψίματα, στρεβλώσεις, μηχανική αλλά και χημική διάβρωση. Τα πτερύγια των σταθερών βαθμίδων λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες ιδιαίτερος βέβαια η πρώτη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται αμέσως μετά τον θάλαμο καύσης.

Για την προφύλαξη των βαθμίδων, χρησιμοποιούνται θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις (Thermal barrier coatings).

Ρωγμές, οι οποίες πιθανόν εντοπίζονται στα σταθερά πτερύγια, μπορούν να γίνουν αποδεκτές, εφόσον ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής (π.χ. μικρές ρωγμές που δεν συγκλίνουν). Αμυχές και σχισίματα συνήθως επισκευάζονται με τρόχισμα και εξομάλυνση της μορφής της περιοχής. Αποφραγμένες οπές ψύξης καθαρίζονται με την χρήση λεπτού σύρματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα πτερύγια τα οποία έχουν υποστεί μηχανική διάβρωση, μπορεί να επισκευασθούν με την μέθοδο επικάλυψης πλάσματος (plasma coating).

Η επιθεώρηση των δίσκων των στροβίλων είναι ιδιαίτερα απαιτητική, εξαιτίας των μεγάλων τάσεων που αυτοί υφίστανται λόγω της περιστροφής τους. Ένδειξη ρωγμής αποτελεί αιτία απόρριψης του δίσκου. Σημειώνεται ότι ειδικά στην περίπτωση στρατιωτικών στροβιλοκινητήρων, έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ειδικές αυτοματοποιημένες επιθεωρήσεις με δινορεύματα, για την ανίχνευση ρωγμών πολύ μικρού μεγέθους.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης το φαινόμενο του ερπυσμού (creep) το οποίο παρατηρείται στα περιστρεφόμενα πτερύγια. Ο συνδυασμός των φυγοκεντρικών τάσεων με τις υψηλές

θερμοκρασίες λειτουργίας προκαλεί επιμήκυνση του πτερυγίου σε κάθε κύκλο λειτουργίας. Αν και αυτή η επιμήκυνση είναι απειροελάχιστη σε κάθε κύκλο, το αθροιστικό αποτέλεσμα πολλών κύκλων λειτουργίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση του διακένου μεταξύ πτερυγίου και περιβλήματος.

3.4 ΛΙΠΑΝΣΗ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Η χρήση των λιπαντικών και κατ' επέκταση των συστημάτων λίπανσης στους αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι απαραίτητη για να πετύχουμε την μείωση των τριβών των κινούμενων μερών του όπως οι τριβείς, τα γρανάζια μετάδοσης κίνησης και οι διατάξεις στεγανοποίησης (λαβύρινθοι – seals), καθώς και την ψύξη αυτών. Η επαφή των κινούμενων μερών σε έναν κινητήρα, η οποία στην πλειοψηφία των περιπτώσεων πραγματοποιείται κάτω από υψηλές δυνάμεις, δημιουργεί δύναμη τριβής. Η δύναμη αυτή έχει πάντοτε αντίθετη διεύθυνση από αυτή της κινούμενης επιφάνειας. Για να υπερνικήσουμε τις δυνάμεις αυτές χρειάζεται να καταναλώσουμε έργο, κάτι που συνεπάγεται απώλεια από το ωφέλιμο έργο που λαμβάνουμε από τον κινητήρα. Όσο μικρότερες είναι οι δυνάμεις τριβής τόσο μεγαλύτερο είναι το έργο που παίρνουμε.

Εκτός από την κατανάλωση έργου, η τριβή που δημιουργείται μεταξύ των κινούμενων μερών προκαλεί και φθορές στις επιφάνειες των εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή. Όσο λείες και ομοιόμορφες να φαίνονται οι επιφάνειες ενός τριβέα ή των δοντιών ενός γραναζιού με γυμνό μάτι, σε μικροσκοπική κλίμακα είναι αρκετά ανώμαλες και τραχιές. Η άμεση επαφή μεταξύ τους επιφέρει φθορά και στις δύο επιφάνειες, με συνέπεια την μεταβολή των διαστάσεών τους από σταδιακή απώλεια υλικού και αύξηση της θερμοκρασίας που δημιουργείτε από την τριβή μεταξύ τους.

Ο ρόλος του λιπαντικού είναι να αποτρέψει την επαφή και συνεπώς την τριβή μεταξύ των κινούμενων μερών δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα ανάμεσα τους. Με αυτό τον τρόπο έχουμε τριβή των κινούμενων μερών με το λιπαντικό και όχι μεταξύ τους. Μια δεύτερη λειτουργία που επιτελεί το λιπαντικό είναι η απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας από τις περιοχές που έρχονται σε επαφή. Παρόλο που η χρήση λιπαντικού μειώνει δραστικά την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στις περιοχές τριβής, τα επίπεδα της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσουν αρκετά υψηλά.

3.4.1 Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά λιπαντικών

Τα λιπαντικά χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες σύμφωνα με τις οποίες διαχωρίζονται και κατηγοριοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές και για την απόδοσή τους σε δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε αεριοστρόβιλους κινητήρες θα πρέπει επίσης να ικανοποιούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας και απόδοσης, τα οποία εξασφαλίζονται με κατάλληλες δοκιμές τους.

Χημική συμβατότητα με τα ελαστικά παρεμβύσματα που χρησιμοποιούνται για την στεγανοποίηση του συστήματος λίπανσης. Το λιπαντικό θα πρέπει να προκαλεί την ελάχιστη δυνατή διόγκωση και συνεπώς παραμόρφωση των ελαστικών παρεμβυσμάτων και φυσικά να μην τα φθείρει αντιδρώντας χημικά μαζί τους.

Θερμική σταθερότητα είναι η ικανότητα του λιπαντικού να μην καίγεται σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζοντας ενανθρακώσεις και ίζημα από υπολείμματα των πρόσθετων του λιπαντικού.

Το λιπαντικό δεν θα πρέπει να παγιδεύει φυσαλίδες αέρα και να σχηματίζει αφρό καθώς κυκλοφορεί το σύστημα λίπανσης. Ειδικά πρόσθετα βοηθούν στο διαχωρισμό των φυσαλίδων αέρα από το λιπαντικό σε μικρό χρονικό διάστημα, αποτρέποντας την εισροή μείγματος αέρα-λιπαντικού στο κύκλωμα λίπανσης.

3.4.2 Τύποι συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων

Οι τύποι των συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων διαφέρουν ανάλογα με την φιλοσοφία σχεδίασης και εφαρμογή του κινητήρα. Γενικά τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται σε κλειστού τύπου συστήματα στα οποία το λιπαντικό επιστρέφει στη δεξαμενή αφού ολοκληρώσει τον κύκλο λίπανσης και επαναχρησιμοποιείται, και ανοικτού τύπου όπου το λιπαντικό δεν επιστρέφει στην δεξαμενή αλλά απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα.

- **Σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα πίεσης κυστίδας τριβέα (κλειστού τύπου)**

Με το σύστημα αυτό η πίεση παροχής στα ακροφύσια ψεκασμού του λιπαντικού ρυθμίζεται με την βοήθεια μιας ρυθμιζόμενης ανακουφιστικής βαλβίδας η οποία είναι ρυθμισμένη να λειτουργεί πάνω από μια ορισμένη πίεση.

Όταν η πίεση του λιπαντικού από την αντλία υπερβεί το όριο αυτό, η βαλβίδα ανοίγει και επιστρέφει την επιπρόσθετη ποσότητα στην εισαγωγή της αντλίας, ή στη δεξαμενή λιπαντικού, διατηρώντας έτσι σταθερή την πίεση παροχής προς τα ακροφύσια και συνεπώς ομοιόμορφο σχήμα ψεκασμού. Καθώς οι στροφές του αυξάνονται, η πίεση στις κυστίδες των τριβέων αυξάνονται ανάλογα, αφού η πίεση αυτή παρέχεται από τον αέρα του συμπιεστή του κινητήρα. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη μείωση της διαφοράς πίεσης που υπάρχει μεταξύ της κυστίδας των τριβέων και του λιπαντικού με αποτέλεσμα την μείωση του παρεχόμενου λιπαντικού σε υψηλές στροφές λειτουργίας. Το πρόβλημα αυτό αντισταθμίζεται από κάποια συστήματα, χρησιμοποιώντας την πίεση της κυστίδας για να επαυξήσουν το φορτίο του ελατηρίου της βαλβίδας παράκαμψης αυξάνοντας έτσι την ροή προς τα ακροφύσια.

- **Σύστημα Λίπανσης Ανοικτού Τύπου**

Αυτό το είδος συστήματος λίπανσης χρησιμοποιείται σε κινητήρες που λειτουργούν για μικρό χρονικό διάστημα ή είναι 'κινητήρες μιας χρήσης'. Ένα τέτοιο σύστημα δεν απαιτεί ανακυκλοφορία του λιπαντικού, αφού αυτό απορρίπτεται στο περιβάλλον μετά τη λίπανση των τριβέων του και συνεπώς δεν χρησιμοποιεί εναλλάκτη, αντλίες επιστροφής και φίλτρο λιπαντικού, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το βάρος και το κόστος του κινητήρα. Οι κινητήρες, των οποίων απαιτείται η χρήση για μικρό χρονικό διάστημα είναι δευτερεύοντες ενισχυτικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες φάσεις πτήσης συνήθως μεταγωγικών αεροσκαφών, όπως για παροχή επιπρόσθετης ώσης για απογείωση σε διαδρόμους μικρού μήκους. Αυτού του είδους οι κινητήρες επίσης χρησιμοποιούνται και σε αεροσκάφη κάθετης απογείωσης όπου λειτουργούν μέχρι ένα ορισμένο ύψος όπου μετέπειτα τίθενται εκτός λειτουργίας αφού αναλαμβάνουν το έργο της πρόωσης του σκάφους οι κύριοι κινητήρες του.

3.4.3 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

Οι έλεγχοι που γίνονται στο σύστημα λίπανσης αφορούν τη στάθμη της δεξαμενής λιπαντικού, τον έλεγχο του φίλτρου και την αλλαγή ή τον καθορισμό του, ανάλογα με τον τύπο που χρησιμοποιείται και τον έλεγχο των ανιχνευτών ρινισμάτων. Ένας έλεγχος που γίνεται μετά την επιθεώρηση του φίλτρου ή του ανιχνευτή ρινισμάτων σε περίπτωση που εντοπιστούν ρινίσματα μεγαλύτερου μεγέθους και ποσότητας από αυτά που έχει προδιαγράψει ο κατασκευαστής είναι ο φασματοσκοπικός έλεγχος λιπαντικού.

Οι πιο συνηθισμένες βλάβες που παρουσιάζει το σύστημα λίπανσης ενός αεροστροβίλου κινητήρα είναι οι ακόλουθες :

1. **Απώλεια πίεσης λαδιού (χωρίς ίχνος διαρροής):** Μπορεί να οφείλεται εκτός από εμφανή διαρροή σε ελαττωματικό όργανο ένδειξης στο χειριστήριο ή ελαττωματικό αισθητήρα, χαμηλή στάθμη λιπαντικού, φραγμένη έξοδο ελαίου στη δεξαμενή και τέλος βλάβη στην αντλία.
2. **Χαμηλή πίεση λαδιού:** Μπορεί να οφείλεται εκτός από μία από τις παραπάνω αιτίες και στις ακόλουθες: ελαττωματική βαλβίδα παράκαμψης όπου στην περίπτωση αυτή η βαλβίδα ανοίγει σε μικρότερη πίεση από την προβλεπόμενη.
3. **Υψηλή πίεση λαδιού:** Η ένδειξη υψηλής πίεσης λαδιού εκτός από βλάβη στον αισθητήρα και το όργανο ένδειξης μπορεί να οφείλεται σε φραγμένο σωλήνα παράκαμψης λαδιού.
4. **Διακύμανση πίεσης λαδιού:** Οφείλεται συνήθως σε βλάβη στο σύστημα ένδειξης, όπως σε κομμένο καλώδιο, χαλαρή σύνδεση σε κάποιο από τους συνδέσμους καλωδίωσης ή βλάβη στον αισθητήρα πίεσης. Επίσης, διακύμανση στην πίεση μπορεί να προκαλέσει ελαττωματική βαλβίδα παράκαμψης η οποία δεν μπορεί να παραμείνει σε ανοικτή θέση σε ενδεχόμενη αύξηση της πίεσης, και καθώς ταλαντεύεται μεταξύ ανοικτής και κλειστής θέσης δημιουργεί αυξομειώσεις στη πίεση.
5. **Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λαδιού:** Μπορεί να οφείλεται σε εισροή καυσίμου μέσα στο κύκλωμα λίπανσης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί σε κινητήρες που χρησιμοποιούν εναλλάκτη λιπαντικού – καυσίμου για την ψύξη του λιπαντικού. Στη περίπτωση που υπάρξει κάποια θραύση αγωγού μέσα στον εναλλάκτη, τότε το καύσιμο μπορεί να περάσει μέσα στο κύκλωμα λίπανσης και να παρουσιαστεί ένδειξη αυξημένης ποσότητας λαδιού.

3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

Είναι δεδομένο από τον κύκλο λειτουργίας του αεροστροβίλου κινητήρα ότι για να λειτουργήσει αποδοτικά ένας κινητήρας και να παράγει μέγιστο έργο με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου θα πρέπει να λειτουργεί με τη μεγαλύτερη δυνατή θερμοκρασία εισαγωγής στροβίλου. Όμως, η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής δεν είναι απεριόριστη καθώς συνδέεται άμεσα με το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν εξαρτήματα όπως οι θάλαμοι καύσης και τα σταθερά πτερύγια της πρώτης βαθμίδας στροβίλου: η θερμοκρασία των καυσαερίων σε αυτά πλησιάζει ή και υπερβαίνει τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων κατασκευής τους.

Για το λόγο αυτό είναι προφανής η αναγκαιότητα ψύξης ευαίσθητων περιοχών και εξαρτημάτων ενός αεροστροβίλου κινητήρα. Αυτή επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία αέρα,

τόσο στο δακτύλιο μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος και του αεροδυναμικού καλύμματος του κινητήρα, όσο και στο εσωτερικό του. Ο αέρας αυτός απομαστεύεται από το συμπιεστή.

3.5.1 Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα

Η περιφερειακή ψύξη του κινητήρα διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Στους στροβιλοαντιδραστήρες παλαιότερης τεχνολογίας η ψύξη του περιβλήματος επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον αέρα που εισρέει στον κινητήρα από τη εισαγωγή του λόγω διαφοράς πίεσης μεταξύ της εισαγωγής και του ακροφύσιου εξαγωγής. Στους περισσότερους τύπους στρατιωτικών στροβιλοαντιδραστήρων δεν χρησιμοποιείται ψύξη του περιβλήματος, αλλά προστατεύεται ο χώρος του σκάφους περιφερειακά του θερμού τμήματος του κινητήρα με επένδυση από ειδικό πυρίμαχο υλικό.

Στους στροβιλοανεμιστήρες χαμηλού λόγου παράκαμψης το οποίο διέρχεται μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος του κινητήρα και του περιβλήματος του συμπιεστή του θαλάμου καύσης, του στροβίλου (και αν υπάρχει μετακαυστήρας του περιβλήματος θερμικής προστασίας του) προτού εξέλθει στην ατμόσφαιρα μέσω του ακροφυσίου εξαγωγής.

Στους στροβιλοανεμιστήρες μεγάλου λόγου παράκαμψης όπως οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα πολιτικά αεροσκάφη, η ψύξη του περιβλήματος του κινητήρα γίνεται πάλι με χρήση του αέρα παράκαμψης.

3.5.2 Εσωτερική ψύξη του κινητήρα

Θάλαμος καύσης: Ο θάλαμος καύσης του αεριοστρόβιλου κινητήρα, ανεξάρτητα από τον τύπο του (πολλαπλού τύπου, δακτυλιοειδής, ή σωληνοδακτυλιοειδής), είναι ένα εξάρτημα που δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς ψύξη από τον αέρα που εισέρχεται από το διαχύτη του κινητήρα. Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης είναι οι μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον κινητήρα και μπορούν να φθάσουν τους 2000°C, θερμοκρασία στην οποία θα έλιωνε πολύ γρήγορα το λεπτό έλασμα από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο θάλαμος καύσης. Για τη ψύξη του θαλάμου καύσης χρησιμοποιείται ένα μέρος του αέρα που εισέρχεται από το διαχύτη του κινητήρα στο θάλαμο καύσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε, ότι το ποσοστό του αέρα που συμμετέχει στην καύση ανέρχεται σε 15 – 20 %, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται ως αέρας ψύξης και αραιώσης.

Σταθερά και κινητά πτερύγια στροβίλου: Τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο καύσης με θερμοκρασία που φτάνει, σε ορισμένους κινητήρες, ακόμα και 1550 °C. Η θερμοκρασία αυτή είναι αρκετά μικρότερη της μέγιστης που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης. Παρ' όλη την πτώση αυτή, η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και σε κάποιους κινητήρες υψηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των σταθερών και κινητών πτερυγίων της πρώτης βαθμίδας του στροβίλου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται αέρας από τον συμπιεστή για ψύξη των σταθερών και των κινητών πτερυγίων του στροβίλου. Η ψύξη των πτερυγίων επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με τη διαθέσιμη τεχνολογία, το κόστος κατασκευής αλλά και τη μέγιστη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί ο στρόβιλος του συγκεκριμένου κινητήρα.

Δίσκοι Στροβίλου: Οι δίσκοι του στροβίλου είναι ένα επιπλέον εξάρτημα του κινητήρα που απαιτεί ψύξη. Οι δυνάμεις που δέχεται λόγω της περιστροφής του με υψηλές ταχύτητες σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, τις οποίες υπόκειται προκαλούν ερπυσμό,

φαινόμενο που δημιουργεί αύξηση των διαστάσεων του δίσκου και μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες δεδομένου του πολύ μικρού διακένου που έχουν τα άκρα των πτερυγίων με το περίβλημα.

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ

3.6.1 Τύποι και Ιδιότητες Καυσίμων

Οι ιδιότητες που απαιτείται να έχει ένα καύσιμο για να καταστεί κατάλληλο για χρήση σε έναν αεριοστρόβιλο αεροπορικό κινητήρα είναι πολλές και οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί αυστηρές. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Θα πρέπει να έχουν χαμηλό ιξώδες σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών οι οποίες συναντώνται σε συνθήκες πτήσης ενός αεροσκάφους (- 50 *C έως 60 *C), έτσι ώστε να μπορούν να ρέουν ικανοποιητικά μέσα στο σύστημα καυσίμου.
- Θα πρέπει να επιτρέπουν την εκκίνηση του κινητήρα κάτω από όλες τις συνθήκες πτήσης και να διατηρούν αποδοτική και σταθερή καύση του μείγματος αέρα καυσίμου όπως εκκίνηση καυσίμου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και επανεκκίνηση στον αέρα όπου η θερμοκρασία μπορεί να είναι πολύ χαμηλή και η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο μικρή.
- Να έχουν τη μέγιστη θερμογόνο δύναμη (FCV –fuel calorific value)
- Θα πρέπει να περιέχει λίπανση στα κινούμενα μέρη των εξαρτημάτων του συστήματος καυσίμου.

Μια από τις βασικές ιδιότητες ενός καυσίμου και πολύ περισσότερο ενός αεροπορικού καυσίμου, είναι η υψηλή θερμογόνο δύναμη του, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που εκλύει μια δεδομένη ποσότητα καυσίμου. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για δεδομένη απόσταση πτήσης, άρα και μέγιστο το φορτίο που μπορεί να μεταφερθεί ή πόσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα δράσης του αεροσκάφους για δεδομένη χωρητικότητα των δεξαμενών του.

Η περιεκτικότητα του σε θείο θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της καύσης παράγεται θειικό οξύ καθώς αντιδρά το θείο με τους υδρατμούς των καυσαερίων και προκαλεί οξειδωση στα μέρη του κινητήρα που βρίσκονται στο ρεύμα των καυσαερίων. Επιπλέον, το περιεχόμενο σε θείο έχει οξειδωτική δράση και στα μέρη του συστήματος καυσίμου με το οποίο έρχεται σε επαφή το καύσιμο.

Το σημείο πήξης του καυσίμου είναι επίσης πολύ σημαντική παράμετρος λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της πτήσης σε μεγάλα ύψη, αλλά και σε χρήση σε κρύα κλίματα. Όταν το καύσιμο βρεθεί κοντά σε συνθήκες πήξης του, σχηματίζονται στερεά σωματίδια με συνέπεια την απόφραξη φίλτρων και τμημάτων του συστήματος καυσίμου. Το σημείο πήξης των καυσίμων αεριοστρόβιλων κινητήρων κυμαίνεται από 40 *C έως 60 *C.

Τα χαρακτηριστικά της ανάφλεξης και καύσης του καυσίμου είναι αντικείμενο διεξοδικής μελέτης για την ομαλή και χωρίς προβλήματα λειτουργία του κινητήρα. Το κατάλληλο καύσιμο θα πρέπει να καίγεται πλήρως χωρίς να δημιουργεί καπνό και ενανθρακώσεις στους εγχυτήρες καυσίμου, στον θάλαμο καύσης και τα πτερύγια του στρόβιλου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος του καυσίμου και το ποσοστό των ατόμων άνθρακα σε σχέση με το

ποσοστό των ατόμων υδρογόνου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο σχηματισμός καπνού και ενανθρακώσεων.

3.6.2 Τύποι Αεροπορικών Καυσίμων

Τα αεροπορικά καύσιμα είναι υδρογονάνθρακες, προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου και ονομάζονται κηροζίνες. Στη διαδικασία διύλισης παράγονται σε σειρά μετά από το πετρέλαιο και πριν από τη βενζίνη καθώς είναι πιο πτητικά καύσιμα από το πετρέλαιο, δηλαδή εξαερώνονται σε μικρότερη θερμοκρασία αλλά είναι λιγότερο πτητικά από την βενζίνη.

Στην προσπάθεια παραγωγής καυσίμων με ικανοποιητική απόδοση και σε επαρκείς ποσότητες για τις εκάστοτες ανάγκες της αγοράς και των τύπων των αεροστροβίλων κινητήρων έχουν παραχθεί αρκετοί τύποι καυσίμων. Ευρύτερα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα καύσιμα με κωδικό **JP**, που αναπτύχθηκαν για χρήση σε στρατιωτικούς κινητήρες της Αμερικάνικης Πολεμικής Αεροπορίας και τα καύσιμα με κωδικό **Jet** που αναπτύχθηκαν για χρήσεις με πολιτικούς κινητήρες.

A) Καύσιμα κατηγορίας JP

JP-1: Το πρώτο καύσιμο τύπου κηροζίνης με χαμηλό σημείο πήξης και υψηλότερο σημείο ανάφλεξης από το τότε διαθέσιμο καύσιμο, την αεροπορική βενζίνη και συνεπώς πιο ασφαλές. Είχε όμως τα μειονεκτήματα της δυσκολίας ανάφλεξης σε χαμηλές θερμοκρασίες, τη διακοπή της καύσης σε μεγάλα σημεία και τη δημιουργία πάγου στο σύστημα καυσίμου.

JP-2: Το καύσιμο αυτό ήταν μια απόπειρα βελτίωσης του **JP-1** προσθέτοντας του ένα μικρό ποσό βενζίνης.

P-3: Το καύσιμο που αντικατέστησε το **JP-1** ήταν ένα μείγμα του 65 – 70% αεροπορικής βενζίνης και 30 – 35% κηροζίνης. Η ανάφλεξη του κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες βελτιώθηκε, καθώς και η ευκολία επανεκκίνησης σε μεγάλα ύψη. Το μειονέκτημα του ήταν η υψηλή πτητικότητά του, η οποία δημιούργησε απώλειες σε μεγάλα ύψη από την ατμοσφαιρική αποκατάσταση των δεξαμενών. Επίσης δεν παρείχε ικανοποιητική λίπανση λόγω της μεγάλης του περιεκτικότητας σε βενζίνη.

JP-4: Ο πιο διαδεδομένος τύπος καυσίμου αεροστροβίλων κινητήρων ο οποίος είναι σε περιορισμένη χρήση έως και σήμερα. (Σταδιακά αντικαταστάθηκε από το **JP-8**) Είναι ένα καύσιμο ευρείας απόσταξης, δηλαδή περιέχει και ποσοστά των καυσίμων που παράγονται κατά την διύλιση πριν και μετά από την κηροζίνη όπως η νάφθα και η βενζίνη. Είναι λιγότερο πτητικό από το **JP-3** και συνεπώς παρουσιάζει λιγότερες απώλειες καυσίμου από εξάερωση, αλλά έχει χαμηλότερη απόδοση και επανεκκίνηση σε μεγάλα ύψη.

JP-5: Το καύσιμο αυτό αναπτύχθηκε για χρήση σε αεροπλανοφόρα. Ήταν το τελικό προϊόν ανάμειξης αεροπορικής βενζίνης και βαρέως αποστάγματος κηροζίνης.

JP-6 UP -7: Αναπτύχθηκαν για εφαρμογές σε υπερηχητικά αεροσκάφη, όπου υπήρχε για χαμηλό σημείο πήξης λόγω πτήσεων σε μεγάλα ύψη.

JP-8: Το καύσιμο αυτό είναι μια βελτίωση του πιο ευρέως χρησιμοποιούμενου **JP-4**. Οι βελτιώσεις που εισάγει είναι : **υψηλότερο σημείο ανάφλεξης μικρότερη και πτητικότητα** χαρακτηριστικά που το κάνουν πιο ασφαλές.

B) Καύσιμα κατηγορίας Jet

Jet A, Jet A-1 και Jet B: Τα καύσιμα αυτά χρησιμοποιούνται στη πολιτική αεροπορία οι τύποι **Jet A** και **Jet A-1** είναι αυτοί που βρίσκονται σε ευρεία χρήση και ανήκουν στην κατηγορία των κηροζίνων, με χαρακτηριστικά τη μικρή πτητικότητα και μικρή τάση να δημιουργούν μίγμα αέρα και ατμών καυσίμου στις δεξαμενές του σκάφους. Το **Jet B** είναι καύσιμο ευρείας διύλισης και ανήκει στην κατηγορία των βενζινών. Αποτελείται από μείγμα κηροζίνης και βενζίνης και έχει χαμηλό σημείο πήξης (-60 *C), ενώ το ιξώδες του παραμένει μικρό σε χαμηλές θερμοκρασίες γεγονός που δεν ευνοεί το σχηματισμό στερεοποιημένου καυσίμου στα φίλτρα και τις αντλίες καυσίμου. Το **Jet B** είναι κατάλληλο για χρήση σε μεγάλα ύψη και ψυχρά κλίματα. Είναι λιγότερο πτητικά καύσιμα από τη βενζίνη, αλλά περισσότερο από τις κηροζίνες με συνέπεια να παράγουν εύφλεκτους ατμούς αέρα, καυσίμου σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

3.7 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πρόοδος στον τομέα παρακολούθησης της υγιούς λειτουργίας του κινητήρα, τόσο από κατασκευαστικής πλευράς όσο και από πλευράς επιδόσεων. Η επιλογή του συστήματος παρακολούθησης εξαρτάται από το κόστος, την κρισιμότητα πιθανής διακοπής λειτουργίας λόγω βλάβης, το μέγεθος του εργοστασίου υποβιβασμού των επιδόσεων ή της βλάβης μιας συνιστώσας ή βοηθητικού εξαρτήματος του αεροστροβίλου, αποτελεί αντικείμενο της διαγνωστικής που μπορεί να επεκταθεί σε πρόγνωση βλαβών, δηλαδή μια τεχνική πρόβλεψης του χρονικού διαστήματος μέχρι την εμφάνιση μιας βλάβης. Τα οφέλη που προκύπτουν για τον χρήστη είναι :

- Μείωση κόστους λειτουργίας. Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέγει συνθήκες λειτουργίας με υψηλότερη απόδοση και μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.
- Ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου παράγοντα για την παρακολούθηση της λειτουργίας.
- Συντήρηση χαμηλού κόστους, δηλαδή υψηλής απόδοσης / αποτελεσματικότητας. Εάν ο χρήστης αεροστροβίλου έχει τη δυνατότητα να διαγνώσει με βεβαιότητα μια βλάβη, τότε το κόστος συντήρησης μειώνεται δραστικά, διότι γίνεται επέμβαση γνωρίζοντας την θέση και το είδος της.
- Έγκυρη και έγκαιρη λήψη αποφάσεων σχετικά με την λειτουργία του αεροστροβίλου. Η γνώση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται ένας κινητήρας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επόπτευση και διαχείριση της λειτουργίας του και κυρίως για την οργάνωση της συντήρησής του αποτελεσματικά και αποδοτικά.
- Δημιουργία αρχείου όπου καταγράφεται το ιστορικό λειτουργίας , βλαβών και επισκευών του κινητήρα, το οποίο ενημερώνεται συνεχώς και τον συνοδεύει σε όλη την διάρκεια ζωής του.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος που μπορεί να πραγματοποιήσει διάγνωση βλαβών σε έναν αεροστροβίλο περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Καθορισμός τυπικών τιμών ορισμένων μεγεθών που συνδέονται με την υγεία του κινητήρα, για κινητήρα χωρίς πρόβλημα. Η λεπτομερής περιγραφή της κατάστασης των διαφόρων υποσυστημάτων, δηλαδή τα διάφορα βασικά φυσικά μεγέθη (π.χ. μεγέθη που περιγράφουν κραδασμούς, βαθμούς απόδοσης κ.λπ.) πρέπει να είναι γνωστά στην κατάσταση υγιούς λειτουργίας. Οι πληροφορίες αυτές περιγράφουν την κατάσταση λειτουργίας αναφοράς του κινητήρα.
- Εκτίμηση των τιμών των λειτουργικών μεγεθών, του υπό παρακολούθηση κινητήρα, βάσει μετρήσεων ορισμένων μεταβλητών.
- Προσδιορισμός της κατάστασης του κινητήρα και εντοπισμός βλάβης βάσει των αποκλίσεων των μεγεθών από τις τυπικές τιμές. Για το σκοπό αυτό γίνεται σύγκριση των λαμβανομένων πληροφοριών από μετρήσεις που προϋπάρχουν και είναι γνωστές από αντίστοιχες καταστάσεις κακής λειτουργίας και συμπτωμάτων που αυτές παρουσιάζουν. Αυτό απαιτεί την ύπαρξη δεδομένων σχετικά με τις εμφανιζόμενες βλάβες καθώς και την ύπαρξη συστήματος κανόνων αποφάσεων που αφορά αναγνωρίσιμες βλάβες.
- Δημιουργία συστήματος λήψης αποφάσεων. Επεξεργασία των μεγεθών με εμπειρικά ή αναλυτικά μοντέλα για την πρόβλεψη / πρόγνωση του προσδοκώμενου χρόνου ζωής για τα κρίσιμα εξαρτήματα.

Η δυνατότητα υλοποίησης του τελευταίου σταδίου προϋποθέτει ότι είναι εκ των προτέρων γνωστή η συσχέτιση μεταξύ βλαβών και μεταβολών των κατάλληλων παραμέτρων. Η γνώση τέτοιων συσχετίσεων μπορεί να αποκτηθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Μελετώντας καταγραμμένα στοιχεία βλαβών.
- Πραγματοποιώντας πειράματα με κινητήρες που παρουσιάζουν συγκεκριμένη βλάβη.
- Προσομοιώνοντας την παρουσία βλαβών με χρήση υπολογιστικού μοντέλου. Ένα σύστημα διάγνωσης για να είναι εφαρμόσιμο βιομηχανικά πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:
- Να προβλέπει αξιόπιστα τις βλάβες.
- Να προκαλεί όσο το δυνατόν λιγότερες λανθασμένες καταστάσεις συναγερμού, λόγω εσφαλμένης διάγνωσης.
- Να δικαιολογείται οικονομικά η επένδυση για την εγκατάστασή του.

3.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

Οι μέθοδοι ελέγχου κατάστασης κινητήρων που βασίζονται στην μέτρηση λειτουργικών μεγεθών, μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το είδος των μετρήσεων και του τρόπου επεξεργασίας τους:

1. Διαγνωστική βασισμένη σε παρακολούθηση ρευστό-θερμοδυναμικών μεγεθών. Οι τεχνικές είναι γνωστές με τον όρο Ανάλυση Διέλευσης Καυσαερίου και μπορούν να διαγνώσουν βλάβες στις συνιστώσες των αεριοστρόβιλων που συμμετέχουν στην πραγματοποίηση του θερμοδυναμικού κύκλου και συνεπώς είναι σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο, δηλαδή διαρρέονται από αέριο (όπως π.χ. συμπιεστής θάλαμος καύσης, κ.λπ.)
2. Διάγνωση βασισμένη σε μετρήσεις ταχείας απόκρισης. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει:
 - Οι απαιτούμενες πληροφορίες παρέχονται από την μέτρηση φυσικών μεγεθών κραδασμών σε διάφορα μέρη του αεριοστρόβιλου. Η κατάλληλη ανάλυση των μετρήσεων κραδασμών μπορεί να δώσει πληροφορίες για την κατάσταση αφ' ενός συνιστωσών του

αεριοστρόβιλου που διαρρέονται από αέριο, π.χ. πτερύγια βαθμίδων, και αφ' ετέρου μηχανικών μερών όπως έδρανα, γρανάζια και ατράκτους.

- Μετρήσεις της ακουστικής εκπομπής διαφόρων μερών του κινητήρα.

Οι τεχνικές διάγνωσης και πρόγνωσης βλαβών που βασίζονται σε ανάλυση κραδασμών και ήχου, σε συνδυασμό με τεχνικές ρευστό-θερμοδυναμικής ανάλυσης είναι ζωτικής σημασίας για την χρήση ενός κινητήρα. Εκτός του ότι οι τεχνικές αυτές παρέχουν πληροφορίες για τον έλεγχο κατάστασης ενός κινητήρα, είναι επιπλέον χρήσιμες για τους παρακάτω λόγους:

Πρώτον, παρέχουν πληροφορίες ενώ ο κινητήρας βρίσκεται σε λειτουργία άρα δεν είναι αναγκαίες διακοπές λειτουργίας για διαπίστωση προβλημάτων και δεύτερον, παρέχουν προβλέψεις για επικείμενες ή πιθανές βλάβες, επιτρέποντας την εκτέλεση διορθωτικής ενέργειας πριν την εμφάνιση καταστροφικής αστοχίας διαφόρων εξαρτημάτων.

3. Η μηχανική επαφή των μερών που λιπαίνονται έχει σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη ρινισμάτων στο λιπαντικό μέσο, που προκύπτουν από την μηχανική φθορά. Μέτρηση της περιεκτικότητας σε ρινίσματα στο λιπαντικό μέσο και διαπίστωση της φύσης τους μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό των μηχανικών μερών που έχουν υποστεί φθορά.
4. Τμήματα του κινητήρα επιθεωρούνται οπτικά με αντίστοιχα όργανα στις κατάλληλες θέσεις, (**Ενδοσκόπηση ή Βοροσκοπική επιθεώρηση**).
5. Μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου : επιθεώρηση με ακτίνες χ, υπερήχους κ.λπ., για ρωγμές ή ατέλειες εντός του υλικού οι οποίες δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι.
6. Εκτίμηση της παραμένουσας ζωής των συνιστωσών του κινητήρα σε σχέση με την κόπωση η οποία πραγματοποιείται με διάφορους τύπους συστημάτων παρακολούθησης κόπωσης χαμηλών κύκλων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αρχές μεθόδων διάγνωσης που βασίζονται σε ρευστό-θερμοδυναμικά μεγέθη. Αυτές μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες, ανάλογα με την προσέγγιση του προβλήματος που ακολουθείται:

- **Μέθοδοι άμεσης σύγκρισης.** Πρόκειται για άμεση σύγκριση των τιμών των μετρούμενων μεγεθών με τις αντίστοιχες τιμές τους σε συνθήκες υγιούς κατάστασης του κινητήρα. Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται σε αρκετά αυτόματα συστήματα παρακολούθησης της κατάστασης του κινητήρα. Μετρήσεις ρευστό-θερμοδυναμικών μεγεθών, όπως αριθμοί στροφών, παροχή καυσίμου, θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων, κ.α., συλλέγονται και καταγράφονται κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Ακολουθεί αναγωγή όλων αυτών των μεγεθών σε συνθήκες αναφοράς. Υπολογίζονται δηλαδή οι τιμές που θα είχαν τα διάφορα μεγέθη αν στην είσοδο του κινητήρα επικρατούσαν συνθήκες αναφοράς, (συνθήκες περιβάλλοντος κατά ISO). Οι ανοιγμένες πλέον τομές των διαφόρων μεγεθών συγκρίνονται με τις τιμές που έχουν τα ίδια μεγέθη για τον υγιή κινητήρα, στις συνθήκες αναφοράς. Εφόσον βρίσκονται μέσα σε καθορισμένα όρια από τις τιμές αυτές, ο κινητήρας είναι υγιής. Αν κάποια μεγέθη βρίσκονται εκτός ορίων, τότε υπάρχει βλάβη που πρέπει να προσδιοριστεί. Για να διαγνωσθεί η βλάβη χρησιμοποιείται η έννοια της υπογραφής. Οι υπογραφές στην παρούσα περίπτωση συγκροτούνται με βάση τον πίνακα κατεύθυνσης (πίνακας βλάβης). Παρ' όλο που η εφαρμογή των μεθόδων αυτών είναι αρκετά απλή, δεν παρέχουν αρκετές πληροφορίες (συγκριτικά με τις μεθόδους εκτίμησης που ακολουθούν) και βασίζονται κατά μεγάλο μέρος σε εμπειρική γνώση.
- **Μέθοδοι εκτίμησης:** Οι μέθοδοι εκτίμησης χρησιμοποιούν τις τιμές των μεταβολών στα μετρούμενα μεγέθη και μοντέλα λειτουργικής συμπεριφοράς για να υπολογισθεί ένα

σύνολο μεγεθών που θεωρούνται ενδεικτικά της λειτουργικής κατάστασης μιας εγκατάστασης και είναι:

Οι **γραμμικές προσεγγίσεις** ισχύουν για μικρές μεταβολές μεγεθών. Οι μέθοδοι αυτές θεωρούν ότι ο κινητήρας λειτουργεί σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης και χρησιμοποιούν μια γραμμικοποιημένη ανάλυση για τον προσδιορισμό των μεταβολών των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την κατάσταση των επιμέρους συνιστωσών, π.χ. η τιμή του βαθμού απόδοσης είναι ενδεικτική της κατάστασης ενός συμπιεστή ή ενός στροβίλου. Σ' ένα κινητήρα μπορεί να οριστεί μια σειρά μεγεθών που προσδιορίζουν την υγεία των επί μέρους συνιστωσών. Για να διαπιστώσει τώρα κανείς αν κάποια συνιστώσα έχει πρόβλημα χρειάζεται να ξέρει αν το αντίστοιχο ή τα αντίστοιχα μεγέθη έχουν την τιμή της υγιούς λειτουργίας ή αποκλίνουν από αυτή. Αρκεί λοιπόν να μπορεί να προσδιορίσει από τα δεδομένα κάποιων μετρήσεων τις αποκλίσεις των τιμών των χαρακτηριστικών μεγεθών, από τις τιμές υγιούς λειτουργίας. Μηδενικές αποκλίσεις αντιστοιχούν σε υγιή κινητήρα. Μέθοδοι αυτού του τύπου έχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά που τις κάνουν ιδιαίτερα χρήσιμες. Καταρχήν, εφόσον η αποτίμηση κατάστασης του κινητήρα βασιστεί σε αποκλίσεις των εκτιμώμενων μεγεθών, πολλές φορές δεν είναι απαραίτητη η ακριβής γνώση των αρχικών τιμών αυτών των παραμέτρων δηλαδή αρκεί να είναι γνωστές οι τιμές των συντελεστών επιρροής με ικανοποιητική ακρίβεια. Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα προσδιορισμού βλαβών που οφείλονται σε ταυτόχρονη αλλαγή περισσοτέρων του ενός μεγέθους των συνιστωσών.

Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά μεγέθη βλαβών. Σ' αυτή την περίπτωση υπολογίζονται μεγέθη/παραμέτροι που σχετίζονται με βλάβες και είναι ενδεικτικοί της υγείας της εγκατάστασης, χωρίς παραδοχές μικρών μεταβολών.

Η μέθοδος των γραμμικών προσεγγίσεων που παρουσιάστηκε παραπάνω παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Το πιο σημαντικό απ' αυτά είναι η γραμμικοποίηση των εξισώσεων για τον υπολογισμό μεταβολών μεγεθών / παραμέτρων. Μια τέτοια προσέγγιση είναι ικανοποιητική όταν πρόκειται για μικρές μεταβολές κατάστασης. Όταν οι μεταβολές γίνουν μεγαλύτερου μεγέθους, τότε αφενός μεν οι εξισώσεις διαφορών παύουν να είναι ακριβείς, αφετέρου υπάρχει πρόβλημα στην ακρίβεια υπολογισμού των συντελεστών βαρύτητας. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση άλλων μεθόδων που δεν παρουσιάζουν αυτά τα μειονεκτήματα. Μια τέτοια μέθοδος είναι η μέθοδος της προσαρμοστικής μοντελοποίησης κινητήρα. Η τρίτη λοιπόν, κατηγορία μεθόδων εκτίμησης είναι αυτή των **αντιπροσωπευτικών μοντέλων**. Ενώ οι δύο πρώτες κατηγορίες χρησιμοποιούν μοντελοποίηση που αντιστοιχεί στη φυσική των μεταβολών μέσα σε ένα κινητήρα, η τρίτη αυτή κατηγορία χρησιμοποιεί μαθηματική αναπαράσταση μεταβλητών χωρίς παραμέτρους με κάποια φυσική σημασία (π.χ. μοντέλο ελαχίστων τετραγώνων). Ιδιαίτερα διαδεδομένες μέθοδοι εκτίμησης, όπως τα δένδρα βλαβών και οι πίνακες βλαβών, στηρίζονται σε προηγούμενη εμπειρία ή σε εξομοίωση μεμονωμένων βλαβών. Αυτές οι τεχνικές έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να διαγνώσουν σωστά όταν ο κινητήρας παρουσιάζει ταυτόχρονα δύο ή περισσότερες βλάβες. Επιπλέον οι τεχνικές αυτές δεν μπορούν να υπολογίσουν το μέγεθος της υποβάθμισης της λειτουργίας της συνιστώσας και έτσι χαρακτηρίζονται σαν ποιοτικές και όχι ποσοτικές τεχνικές.

Σε αντίθεση με τις παραπάνω παραδοσιακές μεθόδους, η **μέθοδος Ανάλυσης Καυσαερίων**, παράγει ποσοτικά αποτελέσματα και αποτελεί ένα ισχυρό διαγνωστικό και προγνωστικό εργαλείο. Κατά την λειτουργία του κινητήρα η ροή των καυσαερίων υπόκειται σε διάφορους υποβιβασμούς, όπως επικαθήσεις διάβρωση, οξειδωση, φθορά κ.λπ. . Καθένα από τα παραπάνω φαινόμενα επηρεάζει την ροή των καυσαερίων αλλάζοντας την παροχή μάζας, την απόδοση των συνιστωσών κ.α. που αποτελούν τις ανεξάρτητες παραμέτρους. Λόγω της

υποβάθμισης ο κινητήρας θα προσπαθήσει να βρει ένα νέο σημείο λειτουργίας το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί από μικρές μεταβολές των εξαρτημάτων παραμέτρων. Τότε είναι δυνατό να απομονώσουμε την προβληματική συνιστώσα χρησιμοποιώντας ρευστό-θερμοδυναμικές σχέσεις μεταξύ των ανεξαρτήτων παραμέτρων των συνιστωσών και απευθείας μετρήσεων των εξαρτημένων παραμέτρων. Υποθέτοντας ότι οι μεταβολές των ανεξάρτητων παραμέτρων είναι σχετικά μικρές η καινούργια ομάδα σχέσεων μπορεί να γραμμικοποιηθεί χρησιμοποιώντας τις σειρές Taylor. Αυτές οι γραμμικοποιημένες σχέσεις εφαρμόζονται με την μορφή πίνακα ICM (influence coefficient matrix). Τελικά, ο πίνακας ICM μετατρέπεται σε μορφή fault coefficient matrix, FCM.

3.9 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

Οι επιθεωρήσεις στις οποίες υπόκειται ένας κινητήρας μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες και εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας του. Για παράδειγμα το πρόγραμμα επιθεωρήσεων των κινητήρων, που ακολουθεί μία αεροπορική εταιρία που εκτελεί δρομολόγια μακρινών αποστάσεων, διαφέρει από μία που εξυπηρετεί κοντινούς προορισμούς, γιατί η τελευταία εκτελεί σύντομες πτήσεις με σχετικά μεγάλο αριθμό από-προσγειώσεων. Κατά συνέπεια το πρόγραμμα περιοδικών επιθεωρήσεων και συντήρησης πρέπει να λαμβάνει υπόψη εκτός από τις συνολικές ώρες λειτουργίας και τον αριθμό λεγόμενων κύκλων πτήσεων, όταν πρόκειται για αεροπορικό κινητήρα ή τον αριθμό των σταματημάτων και εκκινήσεων όταν πρόκειται για βιομηχανικό κινητήρα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι επιθεωρήσεις και η συντήρηση πρέπει να ακολουθούν πιστά τις οδηγίες του κατασκευαστή αλλά και να λαμβάνουν υπόψη τις εμπειρίες από την λειτουργία του συγκεκριμένου κινητήρα και των υπολοίπων χρηστών.

Οι **επιθεωρήσεις αεροπορικών κινητήρων** κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

- **Επιθεωρήσεις ρουτίνας.** Περιλαμβάνονται οι ομάδες επιθεωρήσεων ‘check A ή No 1’ και ‘check B ή No 2’. Κατά την επιθεώρηση ‘check A ή No 1’ που εκτελείται συνήθως από απλό τεχνικό προσωπικό εδάφους κάθε περίπου 100h πτήσης και μετά από μερικές από-προσγειώσεις, γίνεται μακροσκοπικός εξωτερικός περιμετρικός έλεγχος του κινητήρα για τυχόν διαρροές καυσίμων, λαδιών, υδραυλικών υγρών, έλεγχος με φακό εισαγωγής/εξαγωγής και ανεφοδιασμός καυσίμων. Η επιθεώρηση ‘check B ή No 2’ είναι συνήθως λίγο πιο ενδελεχής, εκτελείται πάλι από απλό τεχνικό προσωπικό εδάφους και περιλαμβάνει έλεγχο των στατιστικών στοιχείων πτήσης, έλεγχο των σταθμών υγρών του κινητήρα και οπτικό έλεγχο του κινητήρα αφού όμως έχουν ανοιχτεί οι θύρες του.
- **Έκτακτες επιθεωρήσεις.** Κατά την λειτουργία του κινητήρα μπορεί να συμβούν διάφορα έκτακτα γεγονότα που να απαιτούν τον άμεσο ειδικό έλεγχό του, ώστε να διαπιστωθεί το μέγεθος του πιθανού προβλήματος. Τέτοια γεγονότα είναι εισροή ξένου σώματος (πουλιού, πάγου, σκόνης, τέφρας), βαριά προσγείωση, λειτουργία εκτός ορίων στροφών ή θερμοκρασίας ή φορτίων <<g>> που μπορεί να προκαλέσουν εσωτερικές ή εξωτερικές βλάβες στον κινητήρα. Οι επιθεωρήσεις αυτές περιλαμβάνουν οπτικό έλεγχο χωρίς ή με την βοήθεια οργάνων όπως το βοροσκόπιο, κάμερας και ακτινογραφικών μηχανημάτων. Επίσης, πραγματοποιείται έκτακτη επιθεώρηση του θερμού μέρους του κινητήρα, δηλαδή του θαλάμου καύσης του στροβίλου και του αγωγού εξαγωγής, όταν οι επιδόσεις του κινητήρα αρχίζουν να μειώνονται μετά από συνθήκες overspread, απότομου σταματήματος, κτύπημα κεραυνού, διαρροής λαδιού ή εμφάνισης ασυνήθιστων θορύβων.

Οι επιθεωρήσεις αυτές εκτελούνται από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό και απαιτούν μερική αποσυναρμολόγηση του κινητήρα.

Μετά το τέλος των επιθεωρήσεων το τεχνικό προσωπικό εδάφους πρέπει να καθαρίσει και να ελέγξει το χώρο για τυχόν εγκαταλελειμμένα εργαλεία ή αντικείμενα, γιατί όταν ο κινητήρας εκκινήσει και πάλι μπορεί να εισροφηθούν από τον ίδιο ή από άλλον και να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά.

Επίσης, το προσωπικό εδάφους πρέπει να έχει υπόψη του και να αποφεύγει τις επικίνδυνες περιοχές γύρω από τους κινητήρες του αεροσκάφους όταν αυτοί βρίσκονται σε λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^Ο ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ F100-PW-229

Ο κινητήρας F100-PW-229 τροφοδοτεί όλα τα F-15 της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ και την πλειοψηφία του παγκόσμιου στόλου των F-16 Fighting Falcons. Η οικογένεια Pratt & Whitney των κινητήρων F100 έχει επιλεγεί από 23 αεροπορικές δυνάμεις σε όλο τον κόσμο.

Με περισσότερους από 7.200 κινητήρες που παράγονται και πάνω από 24 εκατομμύρια ώρες πτήσης, ο κινητήρας F100 έχει ένα αξιοσημείωτο ρεκόρ της ασφάλειας, το κόστος συντήρησης και αξιοπιστίας. Ο κινητήρας F100 έχει ωφεληθεί από τη συνεχιζόμενη έγχυση της νέας τεχνολογίας από την εισαγωγή του και συνεχίζει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αποστολής μαχητικών αεροσκαφών σε έναν κόσμο συνεχώς μεταβαλλόμενων απειλών.

Ο κινητήρας της Pratt & Whitney F100 είναι ένας από τους πιο ασφαλές μαχητικούς κινητήρες του κόσμου και έχει θέσει τον πήχη πολύ ψηλά για χρήση μαχητικών κινητήρων. Τώρα, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας για τον κινητήρα F119 που τροφοδοτεί το F-22 Raptor, και για τον κινητήρα F135 που τροφοδοτεί το F-35 Lightning II, όπου ενσωματώνονται στους νέους κινητήρες F100, αυτό το σύστημα πρόωσης παρέχει προηγμένη και αξιόπιστη δύναμη για τα αεροσκάφη F-15 και F-16 σε όλο τον κόσμο. Η αυξημένη απόδοση του κινητήρα F100-PW-229 της Pratt & Whitney τον κάνει τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μαχητικό κινητήρα στον κόσμο (Σχήμα 4.1).

Ο κινητήρας F-100-PW-229 αποτελείται από συγκροτήματα για την ευκολία της συντήρησής του. Αυτά είναι :

- Το inlet fan module το οποίο αποτελείται από 3 βαθμίδες και περιλαμβάνει το νούμερο ένα ρουλεμάν και τα μεταβλητά πτερύγια στην εισαγωγή του συμπιεστή.
- Το core engine module το οποίο αποτελείται από 10 βαθμίδες και περιλαμβάνει το νούμερο 2, 3 και 4 ρουλεμάν, καθώς και τον θάλαμο καύσης και τα 24 ακροφύσια καυσίμου. Επιπλέον περιλαμβάνει τα πτερύγια εισόδου και τα πίσω μεταβλητά πτερύγια του συμπιεστή.
- Το high pressure turbine που αποτελείται από 2 βαθμίδες και το low pressure turbine το οποίο επίσης αποτελείται από 2 βαθμίδες και εκεί περιλαμβάνεται και το νούμερο 5 ρουλεμάν.
- Το Augmentor duct and nozzle module.
- Κιβώτιο ταχυτήτων.
- Non modular parts τα οποία είναι οι μπροστινοί και πίσω αγωγοί του ανεμιστήρα.

Στον πρώτο βαθμό συντήρησης του κινητήρα F100-PW-229 περιλαμβάνονται οι καθημερινές εργασίες στον κινητήρα όπως:

- Εντοπισμός πιθανόν βλαβών στον κινητήρα.
- Επιθεωρήσεις και απλές δοκιμές του κινητήρα.
- Αντικατάσταση εξαρτημάτων.

- Ρυθμίσεις του κινητήρα με κατάλληλα εξαρτήματα έτσι ώστε να πιστοποιηθεί η λειτουργικότητα ορισμένων συστημάτων του κινητήρα.
- Καθαρισμός του κινητήρα από τυχόν λιπαντικά.

Στον δεύτερο βαθμό συντήρησης του κινητήρα F100-PW-229 περιλαμβάνονται :

- Μερική ή ολική αποσυναρμολόγηση / συναρμολόγηση τμημάτων του αεροκινητήρα
- Επιθεώρηση αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Καθαρισμός των αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Επισκευή των αποσυναρμολογημένων τμημάτων / υποτμημάτων του αεροκινητήρα
- Έλεγχος στεγανότητας των συγκροτημάτων των τριβέων του αεροκινητήρα
- Έλεγχος ακραίων θέσεων διαφόρων εξαρτημάτων του αεροκινητήρα (διαδικασία rigging)
- Preservation εξαρτημάτων / παρελκόμενων του αεροκινητήρα
- Δοκιμή του αεροκινητήρα στον χώρο του δοκιμαστηρίου (κλειστό- τύπου σήραγγας ή ανοικτό)
- Borescope / Fiberscope έλεγχος στα θερμά και ψυχρά τμήματα του κινητήρα

Στον τρίτο βαθμό συντήρησης του κινητήρα F100-PW-229 περιλαμβάνεται η μεταφορά του σε ειδικά εργοστάσια επισκευής για την επισκευή των υποσυγκροτημάτων του μετά το πέρας του χρόνου λειτουργίας μεταξύ γενικών επισκευών.



4.1 Αεροσκάφος F-15 με κινητήρα F-100 [7]

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ CFM-56

Ο κινητήρας CFM-56 βρίσκει εφαρμογή σε πολιτικά αεροπλάνα όπως είναι το Boeing 737, το Airbus 320 και το Airbus A340-200/300. Οι διαστάσεις του κάνουν εύκολη την μετακίνηση του χωρίς να αποσυναρμολογηθεί. Η μεταφορά αυτού του κινητήρα οδικώς απαιτεί συγκεκριμένες προφυλάξεις έτσι ώστε να εξασφαλίσει την προστασία του κατά την μεταφορά. Μία τέτοια προφύλαξη είναι η χρήση ειδικής ανάρτησης αέρος (air-ride suspension). Επιπλέον ο συγκεκριμένος κινητήρας μπορεί να μεταφερθεί μέσω αέρος με μικρά ή μεγάλα αεροσκάφη. Η μεταφορά του με μικρά αεροσκάφη απαιτεί την αποσυναρμολόγησή του. Ένα πλεονέκτημα αυτού του κινητήρα είναι η ικανότητα παρακολούθησης του για την ανίχνευση και απομόνωση βλαβών κατά την ώρα της πτήσης αλλά και στο έδαφος. Μερικές από τις διαδικασίες αυτές είναι η παρακολούθηση του καυσαερίου, η δυνατότητα ελέγχου με την διαδικασία borescope, η δυνατότητα ελέγχου με ακτίνες γ, το πρόγραμμα ανάλυσης του λαδιού (spectral oil analysis program), η ανάλυση σωματιδίων λαδιού και το σύστημα παρακολούθησης των κραδασμών. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι συνεχείς μετακινήσεις του κινητήρα για επιθεωρήσεις.

Ο κινητήρας CFM56 μπορεί διαχωριστεί σε τρία βασικά υποσυγκροτήματα τα οποία είναι:

- Το Fan major module
- Το Core major module
- Το Low pressure turbine major module

Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο προσωπικό συντήρησης να εκτελεί εργασίες της συντήρησης σε όποιο από τα τρία υποσυγκροτήματα απαιτείται χωρίς ιδιαίτερη αποσυναρμολόγηση του κινητήρα

4.2.1 Fan major module

Το Fan major module αποτελείται από τον ανεμιστήρα, τα πτερύγια του ανεμιστήρα τον ρότορα και τον στάτορα, τα τρία ρουλεμάν, το περίβλημα και το πλαίσιο του ανεμιστήρα. Όλα αυτά δημιουργούν υποσυγκροτήματα όπως:

- Ανεμιστήρας και ενισχυτής
- Τα δύο ρουλεμάν
- Το κιβώτιο ταχυτήτων και το τρίτο ρουλεμάν
- Το πλαίσιο του ανεμιστήρα

Για την μετάδοση της κίνησης χρησιμοποιείται ένας ακτινικός άξονας, ένας οριζόντιος και το κιβώτιο μετάδοσης.

Το συγκρότημα του ανεμιστήρα και του ενισχυτή αποτελείται από τον μπροστινό και τον πίσω κώνο περιστροφής, τον ανεμιστήρα, τα τριάντα οκτώ πτερύγια, τον χαμηλής πίεσης ενισχυτή και τον ρότορα. Αυτό το σύστημα δίνει δύο ροές αέρα, την κύρια όπου ο αέρας περνά μέσα από τον ανεμιστήρα και οδηγείται στον συμπιεστή και την δεύτερη ροή αέρα η οποία συμπιέζεται μηχανικά από τον ανεμιστήρα και περνάει έξω από το πυρήνα του κινητήρα. Αυτή η δεύτερη ροή του αέρα παράγει το 78% της ώσης του κινητήρα.

Το συγκρότημα των δύο ρουλεμάν αποτελείται από τα δύο ρουλεμάν, από σωλήνες για την τροφοδοσία με λάδι και από άλλες εξωτερικές σωληνώσεις. Αυτά τα δύο ρουλεμάν υποστηρίζουν τον ανεμιστήρα και τον ρότορα και πετυχαίνουν την σύζευξη των αξόνων του ανεμιστήρα και του στροβίλου.

Το κιβώτιο ταχυτήτων το τρίτο και τελευταίο ρουλεμάν που βρίσκεται στο συγκρότημα του ανεμιστήρα λειτουργούν ως η μηχανική σύζευξη συμπιεστή υψηλής πίεσης και του κιβωτίου μετάδοσης.

Το πλαίσιο του ανεμιστήρα είναι η κύρια κατασκευή στο μπροστινό μέρος του κινητήρα και οι κύριες χρήσεις του είναι να υποστηρίζει τον ρότορα στον χαμηλής πίεσης συμπιεστή μέσω των δύο πρώτων ρουλεμάν αλλά και να υποστηρίζει το μπροστινό μέρος του ρότορα του συμπιεστή υψηλής πίεσης μέσω του τρίτου ρουλεμάν. Επιπλέον παρέχει αγωγούς για την κύρια αλλά και την δεύτερη ροή αέρα και τέλος να παρέχουν σύνδεση στα σημεία ανύψωσης στα στροφέια και στις αναρτήσεις στο μπροστινό μέρος του κινητήρα.

4.2.2 Core major module

Το συγκρότημα του πυρήνα αποτελείται από τον στροφέιο, τον στάτορα, το περίβλημα και το θάλαμο καύσης, το στόμιο του στροβίλου υψηλής πίεσης, το κάλυμμα του στροβίλου υψηλής πίεσης και το στόμιο του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Όλα αυτά δημιουργούν υποσυγκροτήματα όπως :

- Το στροφέιο του συμπιεστή υψηλής πίεσης.
- Το πίσω στροφέιο του συμπιεστή υψηλής πίεσης.
- Το περίβλημα του θαλάμου καύσης.
- Ο θάλαμος καύσης.
- Το ακροφύσιο του στροβίλου υψηλής πίεσης.
- Το στροφέιο του στροβίλου υψηλής πίεσης.
- Το στροφέιο του στροβίλου χαμηλής πίεσης και το ακροφύσιο του στροβίλου χαμηλής πίεσης.

Ο σκοπός του συμπιεστή είναι να προσφέρει συμπιεσμένο αέρα για την καύση και να αφαιρέσει αέρα από τον κινητήρα για χρήση στο αεροσκάφος. Ο αέρας απορροφάται από πολλαπλά πτερύγια και κατευθύνεται για εξαγωγή στις μπροστινές και πίσω εξόδους. Οι μπροστινές εξόδους παρέχουν αέρα για τον καθαρισμό του κινητήρα και για την ψύξη του ακροφυσίου του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Οι πίσω εξόδους παρέχουν ένα σημείο διαρροής για τον αέρα όπου χρησιμοποιείται για το αεροσκάφος

Το στροφέιο του συμπιεστή υψηλής πίεσης είναι εννιά βαθμίδων και αποτελείται από τον μπροστινό άξονα, από εννιά πηνία, έναν δίσκο και την πίσω τσιμούχα για στεγανοποίηση.

Ο στάτορας του συμπιεστή υψηλής πίεσης αποτελείται από τις μπροστινές θήκες, τα πτερύγια εισόδου και τα πρώτα πέντε πτερύγια του στάτη. Τα πρώτα τρία πτερύγια είναι μεταβλητά και τα άλλα δύο σταθερά.

Ο πίσω στάτορας του συμπιεστή υψηλής πίεσης αποτελείται από τις πίσω θήκες και τρία σταθερά πτερύγια. Αυτός βρίσκεται μέσα στο μπροστινό πλαίσιο του στάτορα.

Το περίβλημα του θαλάμου καύσης αποτελείται από έξι εισόδους για την διαδικασία borescope, τέσσερις για τον έλεγχο του θαλάμου καύσης και δύο για τον έλεγχο του

ακροφυσίου του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Βρίσκεται ανάμεσα από τον συμπιεστή και τον στρόβιλο.

Ο θάλαμος καύσης αποτελείται από εσωτερικές και εξωτερικές κουκούλες, είκοσι κύρια και είκοσι δευτερεύοντα ακροφύσια στροβιλισμού και από τον θόλο. Ο θάλαμος καύσης βρίσκεται μέσα στο περίβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω.

Το ακροφύσιο στροβίλου υψηλής πίεσης αποτελείται από είκοσι τρία τμήματα και από εσωτερικές και εξωτερικές στηρίξεις. Είναι μίας βαθμίδας συστήματος ψύξης του αέρα το οποίο οδηγεί τα καυσαέρια από τον θάλαμο καύσης στα πτερύγια του στρόβιλου υψηλής πίεσης.

Το ακροφύσιο του στροβίλου υψηλής πίεσης παίζει τον ρόλο της επαφής του πυρήνα και του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Περιλαμβάνει έναν θερμικό αισθητήρα συνδεδεμένο στον ρότορα για να παρέχει πληροφορίες για της ανοχές της κατασκευής έτσι ώστε να υπάρξει σταθερότητα σε αυτήν. Το πρώτο στάδιο του στροβίλου χαμηλής πίεσης οδηγεί τα καυσαέρια από τον πυρήνα στα πτερύγια του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Τα παραπάνω βρίσκονται στο τέλος του πλαισίου του θαλάμου καύσης.

4.2.3 Low pressure turbine major module

Το low pressure major module αποτελείται από τον άξονα του στροβίλου από το νούμερο τέσσερα και πέντε ρουλεμάν, τον ρότορα και τον στάτορα του στροβίλου χαμηλής πίεσης και το πλαίσιο του στροβίλου. Αυτά δημιουργούν υποσυγκροτήματα όπως:

- Ο άξονας του στροβίλου
- Ο ρότορας και ο στάτορας του στροβίλου
- Το πλαίσιο του στροβίλου

Το περίβλημα του στροβίλου παρέχεται με κυκλικές εσοχές στην εσωτερική του διάμετρο για να διευκολύνει την σύζευξη με το ακροφύσιο και της σταθερές σφραγίδες αέρα. Επιπλέον περιλαμβάνει εννέα εξοχές για την εγκατάσταση των $T_{4,95}$ θερμοστοιχείων, τρεις εξοχές για την διαδικασία borescope και τέλος έναν πύρο που προεξέχει προς τα εμπρός στην μπροστινή φλάντζα.

Το υποσυγκρότημα του άξονα του στροβίλου αποτελείται από τον άξονα, τον κεντρικό σωλήνα εξαερισμού και την επέκταση αυτού στο πίσω μέρος, καθώς και τα νούμερα τέσσερα και πέντε ρουλεμάν. Ο άξονας αυτός έχει δύο λειτουργίες, την σύζευξη του ρότορα του ανεμιστήρα με τον ρότορα του στροβίλου και παρέχοντας υποστήριξη στο πίσω μέρος του συμπιεστή υψηλής πίεσης μέσω του νούμερο τέσσερα ρουλεμάν.

Το πλαίσιο του στροβίλου αποτελείται από ένα εξωτερικό πολυγωνικό περίβλημα και ένα κεντρικό άνοιγμα. Αυτά συνδέονται μεταξύ τους με λοξές στηρίξεις. Ο συγκεκριμένος τρόπος κατασκευής περιορίζει της θερμικές καταπονήσεις. Το πίσω πλαίσιο του στροβίλου είναι η δεύτερη από τις κύριες δομικές κατασκευές και παίζει τον ρόλο της υποστήριξης του πίσω τμήματος του ρότορα του στροβίλου.

4.2.4 Τεστ στον κινητήρα CFM-56

Τα τεστ που γίνονται στον κινητήρα είναι τα παρακάτω και συμβολίζονται με αριθμούς για να αναγνωρίζονται:

Test no.	Title of the Test
1)	Pneumatic Leak Test (Πνευματικοί Έλεγχοι Διαρροής)
2)	Engine motoring (Κινητήρας αυτοκίνησης)
3)	Leak Check - Idle Power (Έλεγχος Διαρροής – χαμηλή ισχύς)
4)	Idle Speed Check (Έλεγχος χαμηλής ταχύτητας)
5)	Power Assurance Check (Έλεγχος διασφάλισης ισχύος)
6)	Mec Trim (Αντικατάσταση κινητήρα)
7)	Vibration survey (Έλεγχος για δονήσεις)
8)	Accel/Decel Check (Έλεγχος επιτάχυνσης/επιβράδυνσης του κινητήρα)
9)	Replacement Engine Test (Pretested) (Τεστ σε κινητήρα που έχει αντικατασταθεί και έχει ελεγχθεί ξανά)
10)	Replacement Engine Test (Untested) (Τεστ σε κινητήρα που έχει αντικατασταθεί και δεν έχει ελεγχθεί ξανά)
11)	T ₂ /Compressor Inlet Temperature (CIT) Sensor Test (Έλεγχος θερμοκρασίας εισαγωγής στον συμπιεστή και έλεγχος στον αισθητήρα)

A) Σκοπός του test no. 1 (Pneumatic Leak Test)

Η διαδικασία αυτή έχει το προσωπικό σύστημα συντήρησης που θα εξετάζει για τυχόν διαρροή:

- Την μίζα (μέχρι την βαλβίδα εκκίνησης)
- 5η και 9η βαθμίδα (μέχρι την βαλβίδα ελέγχου αέρα-εξαέρωσης)
- Στη ψυχρή είσοδο (μέχρι τη θερμική βαλβίδα).

B) Σκοπός του Test no.2 (Engine motoring)

Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε λειτουργία που απαιτεί την περιστροφή του κινητήρα με μίζα μόνο.

Εργασίες συντήρησης

Η αυτοκίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ξηρή κατάσταση (χωρίς καύσιμα, εισάγεται στο θάλαμο καύσης) ή σε υγρή κατάσταση (καύσιμα εισάγονται μέσα στον θάλαμο καύσης) όπου είναι και η επιθυμητή διαδικασία. Με την ξηρή αυτοκίνηση θα διαπιστώσουμε ότι ο κινητήρας περιστρέφεται ελεύθερα, ότι τα όργανα λειτουργούν σωστά, και ότι η μίζα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για ένα επιτυχημένο ξεκίνημα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει το σύστημα λίπανσης μετά τη συντήρηση, την ψύξη του κινητήρα κάτω για borescope επιθεώρηση, ή να καθαρίσουμε το υπολειπόμενο καύσιμο που μπορεί να έχουν συσσωρευτεί στον θάλαμο καύσης ή σε χαμηλό τμήμα του περιβλήματος του στροβίλου. Υγρή αυτοκίνηση χρησιμοποιείται μόνο για επαναφορά στο σύστημα καυσίμου μετά την αποθήκευση.

Γ) Σκοπός του test no.3 (Leak Check - Idle Power)

Η αδράνεια των ελέγχων διαρροής για τον επόμενο σωστό κινητήρα θα πρέπει:

- Οι συνδέσεις να μην έχουν διαρροή.
- Ο θόρυβος να είναι σωστός.
- Όλα τα μέσα που σχετίζονται με τον κινητήρα να έχουν τις σωστές ενδείξεις.

Εργασίες συντήρησης

Γίνεται οπτικός έλεγχος διαρροής, παρακάτω θα δούμε τους βασικούς τομείς που πρέπει να ελέγχουν.

Ελέγχουμε για ενδείξεις διαρροής καυσίμου από το συλλέκτη καυσίμου και πολλαπλή διαρροή καυσίμου στον πυρήνα του κινητήρα. Ελέγχουμε για ενδείξεις διαρροών εσωτερικών καυσίμων και αναφέρουμε αν στάζει το καύσιμο από τις γραμμές αποστράγγισης του καυσίμου. Επίσης εξετάζουμε για ζημιές ή / και διαρροές:

- Τον εναλλάκτη θερμότητας λαδιού / καυσίμου .
- Την θερμάστρα Servo καυσίμου .
- Το "Λάδι σε" σωλήνα στο φίλτρο λαδιού.
- Το "Πετρέλαιο έξω" από τον σωλήνα.
- Το φίλτρο λαδιού .
- Το φίλτρο τροφοδοσίας λαδιού .
- Τους μαγνητικούς ανιχνευτές (τσιπ) .
- Την μονάδα λίπανσης .
- Το σωλήνα τροφοδοσίας λαδιού προς το εμπρός κάρτερ.
- Aft σωλήνα κάρτερ τροφοδοσίας λαδιού από τη μονάδα λίπανσης στο οπίσθιο κάρτερ.
- AGB σωλήνα τροφοδοσίας λαδιού από τη μονάδα λίπανσης AGB.
- Τον σωλήνα εισαγωγής του φίλτρου λαδιού από τη μονάδα λίπανσης ώστε να σκουπίζουμε το φίλτρο λαδιού.
- Την δεξαμενή πετρελαίου .
- Την δεξαμενή λαδιού μαγνητικής διαρροής.
- Aft σωλήνα καθαρισμού από το οπίσθιο κάρτερ.
- Τον σωλήνα παροχής των λιπαντικών από τη δεξαμενή πετρελαίου σε μονάδα λίπανσης.

Επιπλέον ελέγχουμε το CIT (θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στον συμπιεστή) περίβλημα του αισθητήρα του σωλήνα αποστράγγισης για απόδειξη των καυσίμων διαρροής. Αν βρεθεί, αντικαταστήσουμε τον αισθητήρα CIT.

Οπτικώς επιθεωρούμε προσβάσιμες σωληνώσεις αισθητήρα θερμοκρασιών στο fan case και στον engine core για τα παρακάτω:

- Αποδεικτικά στοιχεία των διαρροών καυσίμου.
- Ρωγμές.
- Βαθουλώματα.
- Κατέρρευσε τμήματα.

- Να φοράτε μέσα.
- Λυγίσματα.
- Χαλαρά εξαρτήματα.

Τέλος, εξετάζουμε τον αισθητήρα T_{2.0} για βλάβη ή απόφραξη τα ακόλουθα:

- Στέγαση αισθητήρα για ρωγμές, γρατσουνιές, βαθουλώματα και γρατσουνιές.
- Τοποθέτηση φλάντζες για ρωγμές, κάμψη και παραμόρφωση.
- Τριχοειδούς σωλήνες για στρεβλώσεις ή ρήξη.
- Σωλήνες καυσίμου για διαρροές.

Δ) Σκοπός του test no.4 (Idle Speed Check)

Ο έλεγχος των στροφών βραδυπορείας σιγουρεύει ότι το RPM% N₂ είναι μέσα στα όρια τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές στροφές.

Εργασίες συντήρησης

Εάν είναι απαραίτητο, η προσαρμογή στη χαμηλή ή υψηλή αδράνεια γίνεται με τη στατική του κινητήρα στο MEC. Για να αποκτήσετε πρόσβαση στην προσαρμογή για την υψηλή αδράνεια, πρέπει να αφαιρέσουμε την προσαρμογή για τις χαμηλές στροφές.

Τα παρακάτω είναι μια περίληψη του ελέγχου των χαμηλών στροφών βραδυπορείας.

- Καταγράφουμε τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος .
- Ξεκινάμε τον κινητήρα.
- Βεβαιωνόμαστε ότι όλος ο αέρας εξαέρωσης και τα ηλεκτρικά φορτία είναι απενεργοποιημένα.
- Αφήνουμε τη λειτουργία του κινητήρα σταθερά σε χαμηλή ισχύς.
- Βεβαιωνόμαστε ότι το RPM% N₂ παραμένει στα όρια.

Για συγκεκριμένους αριθμούς μέρος του MEC απαιτούν κάποια προσαρμογή για να γίνει σε χαμηλή αδράνεια σε θερμοκρασίες 40°F (4°C) ή κάτω ή 16°F (-9°C) ή χαμηλότερα. Μια χαμηλή ρύθμιση ρελαντί κάτω από αυτές τις θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένα χαμηλό ρελαντί . Η αδράνεια RPM ελέγχεται από ένα κυβερνήτη στο MEC που δεν είναι ρυθμιζόμενος .Έτσι κάνουμε έλεγχο των χαμηλών στροφών βραδυπορείας, όταν είναι δυνατόν, σε ένα υψηλότερο OAT από αυτές οι θερμοκρασίες. Αν το RPM% N₂ παραμένει στα όρια, συνεχίζουμε με το υψηλή αδράνεια ελέγχου. Αν το RPM% N₂ δεν μένει στα όρια, ρυθμίζουμε τη χαμηλή άεργος.

Το παρακάτω είναι μια περίληψη του υψηλού ελέγχου στροφές βραδυπορείας:

- Με τον κινητήρα σε χαμηλό στροφές , ανοίγουμε το IDLE κύκλωμα CONT διακόπτη.
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο RPM% N₂ αυξήσεις RPM είναι περίπου 10%.
- Εάν το RPM% N₂ δεν είναι στα όρια, ρυθμίζουμε την υψηλή άεργο.

E) Σκοπός του test no. 5 (POWER ASSURANCE CHECK)

Είναι ο έλεγχος διασφάλισης ισχύος, είναι ένα καλό τεστ για την ανάλυση των επιδόσεων του κινητήρα. Ο έλεγχος δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται από μόνος του για την αποδοχή ή την απόρριψη ενός κινητήρα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια λειτουργική δοκιμή για να προσδιοριστεί η γενική κατάσταση του κινητήρα και ως διάγνωση για την αντιμετώπιση προβλημάτων.

Εργασίες συντήρησης

Όταν κάνουμε αυτό το τεστ, όπως καθορίζεται μετά από συντήρηση, θα πρέπει να περιλαμβάνει έλεγχο για να βεβαιωθούμε ότι ο κινητήρας και το σύστημα λειτουργούν σωστά ή είναι να επισκευαστούν.

Z) Σκοπός του test no. 6 (MEC TRIM)

Η δοκιμή αυτή δίνει τους ελέγχους μας τι πρέπει να κάνουμε μετά από μια αντικατάσταση κινητήρα.

Εργασίες συντήρησης

Κάνουμε αυτό το τεστ για τις συνθήκες που ακολουθούν:

- Αν νομίζουμε ότι έχουμε λανθασμένη επένδυση κινητήρα
- Ο Power Plant Test Πίνακας Αναφοράς μας λέει να κάνουμε αυτό το τεστ μετά από ένα εξάρτημα που έχει αντικατασταθεί.
- Η δοκιμή αυτή δίνει τις οδηγίες για το ειδικό βάρος προσαρμογής και η επένδυσή της ρύθμισης από την πλευρά τροφοδοσίας. Περιλαμβάνει επίσης τους παρακάτω ελέγχους:
- Ο έλεγχος ταξιδιού και ο στατικός έλεγχος για την VSV και VBV καλωδίου ανατροφοδότησης.
- Ο έλεγχος κέρδους του μετατροπέα PLA.
- Η δοκιμή για το σύστημα ελέγχου του κινητήρα.
- Η αδράνεια ελέγχου διαρροής.
- Ο έλεγχος χαμηλών στροφών.
- Ο έλεγχος διασφάλισης ισχύος (προαιρετικό).
- Ο έλεγχος επιτάχυνσης / επιβράδυνσης.

H) Σκοπός του test no. 7 (VIBRATION SURVEY)

Η δοκιμή αυτή δίνει τα απαραίτητα στοιχεία για να βεβαιωθούμε ότι οι κραδασμοί του κινητήρα παραμένουν εντός των επιτρεπτών ορίων.

Εργασίες συντήρησης

Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται μετά από μια αντικατάσταση εξαρτημάτων, όπως καθορίζεται στο Power Plant Test Πίνακας αναφοράς. Χρησιμοποιούμε την έρευνα της δόνησης για την αντιμετώπιση των προβλημάτων. Αν τα επίπεδα κραδασμών είναι πάνω από τα επιτρεπτά επίπεδα, η εγκατάσταση του εξοπλισμού της δοκιμής απομονώσει την πηγή της δόνησης.

Θ) Σκοπός του test no.8 (ACCEL/DECEL CHECK)

Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει μια ομαλή λειτουργία επιτάχυνσης / επιβράδυνσης χωρίς μετάκαυση.

Εργασίες συντήρησης

Θα κάνουμε τον έλεγχο πρώτα με την PMC και, στη συνέχεια με το PMC off.

Το παρακάτω είναι μια περίληψη των βημάτων που απαιτούνται για να κάνει δοκιμή επιτάχυνσης / επιβράδυνσης.

- Σε κινητήρες με το χρονόμετρο HPTCC, βεβαιωθείτε ότι έχετε απενεργοποιήσει το χρονοδιακόπτη HPTCC). Αν δεν κάνετε αυτή τη διαδικασία, μπορείτε να κάνετε ικανοποιητικές εκκαθαρίσει με λεπίδα ΤΦ. Θα πρέπει να γίνεται αυτή η διαδικασία πριν από κάθε υψηλής ισχύος δοκιμή (RPM N₂ περισσότερο από το 94%) ή μια σειρά κινητήρων

δοκιμές (συμπεριλαμβανομένων τόσο σε αδράνεια και υψηλή δοκιμές ισχύος). Το ίδιο χρονόμετρο θέτει σε κάθε διακοπή λειτουργίας του κινητήρα, αν ήταν ενεργοποιούνται στην προηγούμενη δοκιμή.

- Καταγράψτε τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος (Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα [OAT]) και η βαρομετρική πίεση.

Χρησιμοποιώντας την τρέχουσα OAT, βαρομετρική πίεση, και τον κατάλληλο πίνακα μπορούμε να βρούμε και να κάνουμε μια καταγραφή από τα ακόλουθα:

- ΣΤΑΤΙΚΗ T / O PMC ON / OFF N₁

- ACCEL CHECK TARGET N₁

Ι) Σκοπός του test no. 9/10 (REPLACEMENT ENGINE TESTS)

Η δοκιμή αυτή παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για μια νέα εγκατάσταση ενός κινητήρα αντικατάστασης.

Εργασίες συντήρησης

Το τεστ Νο 9 Αντικατάσταση και δοκιμή κινητήρα εκτελείτε αν ο κινητήρας αντικατάστασης έχει ολοκληρώσει μία από τις δοκιμές που ακολουθούν:

- Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε εγκεκριμένο θάλαμο δοκιμής με μονωτικά πέλματα κραδασμούς στην βάση του κινητήρα
- Ο κινητήρας λειτουργεί ικανοποιητικά απομονώνοντας τους κραδασμούς στην βάση του κινητήρα πριν την εγκατάσταση
- Αν ο κινητήρας που έχει αντικατασταθεί δεν έχει ελεγχθεί ξανά τότε πρέπει οι διαδικασίες να επαναληφθούν ξανά στο τεστ 10

K) Σκοπός του test no. 11 (T₂ /CIT SENSOR TEST)

Η δοκιμή αυτή παρέχει δεδομένα για την αντιμετώπιση προβλημάτων του T₂ ή T_{2.5} (CIT) αισθητήρες για εσφαλμένη λειτουργία.

Εργασίες συντήρησης

Για τη δοκιμή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, λειτουργούμε τον κινητήρα σε χαμηλές στροφές και διαβάζουμε τις τιμές των πιέσεων μεταξύ των αισθητήρων T₂ και CIT. Όταν η κατάσταση των αισθητήρων βρεθεί, συγκρίνουμε τις διαφορές των πιέσεων προς τη συνήθη πίεση για την διαφορά θερμοκρασίας του αέρα. Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα αυτής της διαδικασίας.

- Εγκατάσταση των αισθητήρων FIT/CIT
- Μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας του αέρα
- Ξεκίνημα του κινητήρα σε χαμηλές στροφές
- Διαβάζουμε τις τιμές των πιέσεων μεταξύ των αισθητήρων T₂ και CIT
- Βρίσκουμε τα όρια των αισθητήρων και κάνουμε αντικατάσταση σε αυτούς που ξεπερνάνε τα όρια.

4.2.5 Βασική αντιμετώπιση προβλημάτων

Η αντιμετώπιση προβλημάτων είναι η συστηματική διαδικασία του προσδιορισμού ενός ελαττωματικού στοιχείου σε ένα λειτουργικό σύστημα και καθορισμό των απαραίτητων ενεργειών για να επαναφέρουμε το σύστημα σε λειτουργική κατάσταση.

Η Αντιμετώπιση προβλημάτων αρχίζει με την αναγνώριση και την τεκμηρίωση του προβλήματος. Η ακριβή τεκμηρίωση είναι απαραίτητη για την απομόνωση της βλάβης με την ελάχιστη δαπάνη χρόνου και προσπάθεια.

Το εγχειρίδιο συντήρησης παρέχει πληροφορίες για τις διαδικασίες αντιμετώπισης προβλημάτων που έχουν τη μορφή διαγραμμάτων ροής. Αυτά τα διαγράμματα ροής περιέχουν βήματα αντιμετώπισης προβλημάτων και διορθωτικές ενέργειες με μια συνιστώμενη σειρά που βασίζεται σε πιθανότητα αστοχίας εξαρτήματος και την ευκολία της εκτέλεσης απαιτούμενων ελέγχων. Επιπρόσθετα, μετά τα διαγράμματα, το εγχειρίδιο συντήρησης για τις διαδικασίες αντιμετώπισης των προβλημάτων βασίζονται στις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Διπλό αποτυχίες δεν υπάρχουν.
- Το ελαττωματικό σύστημα ήταν σε πλήρη λειτουργία, πριν από την ένδειξη βλάβης με όλο τον εξοπλισμό να έχει εγκατασταθεί σωστά.
- Όλοι οι σχετικοί διακόπτες κυκλώματος ελέγχθηκαν.
- Όλες οι διαδικασίες λειτουργίας που εφαρμόζονται στο αεροπλάνο / κινητήρα επιτεύχθηκαν.
- Το αεροπλάνο βρίσκεται στο έδαφος, έχει κλείσει σύμφωνα με τις συνήθεις διαδικασίες λειτουργίας και όλα τα συστήματα είναι απενεργοποιημένα.
- Η βλάβη περιγράφεται με ακρίβεια.

4.2.6 Διαδικασίες διατήρησης και επαναφοράς του κινητήρα (power plant preservation and depreservation)

Preservation

Οι οδηγίες συντήρησης δίνουν τις διαδικασίες που συνιστάται όπως τα ελάχιστα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή διαρροής υγρών και υλικών στο κινητήρα, την διάβρωση, και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης ή την προσγείωση. Κάνουμε την εφαρμοστέα διαδικασία συντήρησης από το πρόγραμμα που ακολουθεί:

- Μέχρι 10 ημέρες
- Μέχρι 30 ημέρες
- Έως 90 ημέρες
- 30 και 365 ημερών

Η συντήρηση του κινητήρα είναι ένα ευέλικτο πρόγραμμα που μπορεί να γίνει με τρόπο που συμφωνεί καλύτερα με τις ισχύουσες καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες αποθήκευσης.

Περισσότερη προσοχή είναι απαραίτητη για κινητήρες που δεν λειτουργούν σε υψηλή υγρασία ή σε μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας ή κοντά σε θάλασσες, από ό,τι για τους κινητήρες που βρίσκονται σε ξηρά κλίματα ή λιγότερο κακές καιρικές συνθήκες.

Πρέπει να κάνουμε ένα χρονοδιάγραμμα για τα προγράμματα διατήρησης των κινητήρων για να την διαφύλαξη των διαδικασιών ανανέωσης και παρακολούθησης του προγράμματος τακτικά για να βεβαιωθούμε ότι οι απαραίτητες διαδικασίες γίνονται πριν από τη λήξη του χρόνου διατήρησης. Επίσης, θα πρέπει να εξετάσουμε τη διατήρηση του κινητήρα με τις κατάλληλες διαδικασίες που απαιτούνται έτσι ώστε να τον κρατήσουμε σε άψογη κατάσταση.

KINHTHPAS DRY-OUT

Ο σκοπός είναι να στεγνώσει ο κινητήρας και να απομακρύνει την υγρασία από το σύστημα πετρελαίου για την πρόληψη της διάβρωσης των εδράνων και των γραναζιών.

Πρέπει να κάνουμε τη διαδικασία dry-out του κινητήρα όταν ο κινητήρας δεν έχει προγραμματιστεί για επισκευή στο άμεσο μέλλον και πρέπει να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αν ένας κινητήρας δεν θα λειτουργεί εντός 24 ωρών, μια διαδικασία dry-out πρέπει να πραγματοποιηθεί όσο το δυνατόν συντομότερα.

DEPRESERVATION

Η διαδικασία του DEPRESERVATION περιλαμβάνει βήματα τα οποία ξαναβάζουν τον κινητήρα σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η διαδικασία που ακολουθούμε είναι η εξής:

- Αδειάζουμε το σύστημα πετρελαίου και των καυσίμων του συντηρητικού υγρού.
- Γεμίζουμε το δοχείο λαδιού με νέο λάδι.
- Αντικατάσταση του πετρελαίου και τα φίλτρα των καυσίμων.
- Επιπλέον, λειτουργούμε τον κινητήρα για 10 λεπτά σε χαμηλές στροφές πριν από τον τερματισμό λειτουργίας.
- Ελέγχουμε τους μαγνητικούς ανιχνευτές.

4.2.7 Καθαρισμός κινητήρα

Καθαρισμός συστήματος καυσίμου (ENGINE GAS PATH CLEANING)

Ο καθαρισμός του συστήματος καυσίμου του κινητήρα επαναφέρει την απόδοση του απομακρύνοντας προσμίξεις σωματιδίων από την κύρια διαδρομή της ροής αέρα.

Πλύση του κινητήρα με νερό (ENGINE WATER WASH)

- Αποσυνδέουμε τις γραμμές CDP και CBP κατά τη περίπτωση καύσης και βάζουμε στο τέλος τα καπάκια στις γραμμές.
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο μοχλός αριστερά είναι στη θέση CUTOFF πριν ξεκινήσει .
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο αριστερός προς τα εμπρός μοχλός ώθησης είναι στη θέση χαμηλών στροφών.
- Βεβαιωνόμαστε ότι η αριστερά του μοχλού , ανάστροφη ώση είναι σε θέση χαμηλών στροφών.
- Βεβαιωνόμαστε ότι αριστερά οι ENG ANTI-ICE και BLEED διακόπτες είναι στη θέση OFF.
- Για την χρήση του απορρυπαντικού που πλένουμε τον κινητήρα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα εξής μέτρα ασφαλείας.
- Χρησιμοποιούμε τα λαστιχένια γάντια όταν αγγίζουμε το διαλύτη, διότι ο ερεθισμός του δέρματος μπορεί να συμβεί αν αγγίζουμε το διαλύτη πριν αναμιχθεί.
- Το καθαριστικό είναι εύφλεκτο. Υπακούμε στις προφυλάξεις σε περίπτωση πυρκαγιάς. Εάν δεν υπακούσουμε τις προφυλάξεις, μπορεί να συμβεί τραυματισμός στα πρόσωπά μας.
- Δεν πλένουμε τον κινητήρα εάν δεν υπάρχει σύστημα πυρόσβεσης, διότι μπορεί να υπάρξει πρόβλημα στο κινητήρα.
- Δεν πλένουμε τον κινητήρα εάν η ένδειξη EGT είναι περισσότερη από 66 °C (βλάβη στον κινητήρα μπορεί να συμβεί).
- Προετοιμάζουμε το διάλυμα καθαρισμού.
- Χρησιμοποιούμε τη διαδικασία Power Plant Dry-κινητήρα με κινητήρα.
- Αποσυνδέουμε τη μίζα και αμέσως εφαρμόζεται το διάλυμα καθαρισμού μέσα από τα πτερύγια του ανεμιστήρα και από την είσοδο LPC.
- Εφαρμόζουμε το διάλυμα έως ότου το διάλυμα έχει φύγει ή ο N1 ρότορας σταματά.
- Αφήνουμε τον κινητήρα να μουλιάσει για πέντε λεπτά.
- Κάνουμε τη διαδικασία πλύσης νερού.

Βεβαιωνόμαστε ότι ο ρότορας N₁ γυρίζει ελεύθερα όταν πλένετε το κινητήρα. Αν ο ρότορας N₁ δεν περιστρέφεται ελεύθερα, τότε θα μπορούσε να συμβεί βλάβη στον κινητήρα.

Ξέπλυμα κινητήρα (ENGINE WATER RINSE)

- Παίρνουμε τις ίδιες προφυλάξεις που αναφέραμε στον κινητήρα.
- Χρησιμοποιούμε τη διαδικασία Power Plant Dry-κινητήρα με κινητήρα.
- Ενώ ο κινητήρας γυρίζει, ρίχνουμε νερό μέσα από τον ανεμιστήρα και μέσα στην είσοδο LPC.
- Αφήνουμε τον κινητήρα να μουλιάσει για πέντε λεπτά.
- Ενώ ο κινητήρας γυρίζει, εφαρμόζουμε το νερό μέσα από του ανεμιστήρα τις λεπίδες και μέσα στην είσοδο LPC.
- Αφήστε τον κινητήρα να μουλιάσει για πέντε λεπτά.
- Τα πρώτα δύο λεπτά, απλώνουμε το νερό μέσα στα πτερύγια του ανεμιστήρα και μέσα στην είσοδο LPC.

Έλεγχος μετά το πλύσιμο (ENGINE POST-RINSE)

- Συνδέουμε τις γραμμές CDP και CBP.
- Προσθέτουμε ένα τέταρτο γαλονιού (ένα λίτρο) AeroShell υγρού 12 του πετρελαίου, στη δεξαμενή λαδιού.
- Θέτουμε σε λειτουργία τον κινητήρα μετά όχι περισσότερο από 30 λεπτά από τον τελευταίο κύκλο πλύσης για να αφαιρεθεί όλο το νερό από το σύστημα λαδιού.
- Λειτουργούμε τον κινητήρα στο χαμηλό ρελαντί για πέντε λεπτά.
- Βεβαιωνόμαστε ότι οι διακόπτες του κινητήρα και APU συνδεσμολογία είναι στη θέση OFF.
- Βάζουμε το εφαρμοστέο διακόπτη ENG ANTI-ICE στη θέση ON.
- Βεβαιωνόμαστε ότι υπάρχει μια αύξηση στην EGT περίπου στους 15°C
- Βάζουμε το διακόπτη ANTI-ICE ENG στη θέση OFF.
- Μετακινούμε το μοχλό προς την εμπρός ώθηση έως ότου ο κινητήρας είναι σε υψηλές στροφές. Βάζουμε το εφαρμοστέο ENG ANTI-ICE διακόπτη στη θέση ON.
- Βεβαιωνόμαστε ότι υπάρχει μια αύξηση στην EGT περίπου 15°C.
- Βάζουμε το διακόπτη ANTI-ICE ENG στη θέση OFF.
- Βάζουμε τον κινητήρα σε χαμηλή θέση ρελαντί και τη λειτουργία του κινητήρα για πέντε λεπτά.
- Τερματίζουμε τη λειτουργία του κινητήρα.

4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των τεχνικών τα οποία απαιτούνται για να αποφευχθούν τα λάθη σε μια συντήρηση αεριοκινητήρων είναι να έχουν γνώση, εμπειρία, να έχουν ακέραιο χαρακτήρα, να είναι οργανωτικοί, τελειομανής και λεπτολόγοι στην εργασία τους, να γνωρίζουν ξένες γλώσσες για να μπορούν να καταλαβαίνουν τα εγχειρίδια συντηρήσεις των διαφόρων κινητήρων και τέλος να είναι πιστοποιημένοι από Ευρωπαϊκούς οργανισμούς πιστοποίησης όπως θα δούμε παρακάτω.

4.3.1 Πιστοποίηση τεχνικών

Τα τελευταία χρόνια η συντήρηση των αεροσκαφών έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία τόσο για την ασφαλή πτήση ενός αεροσκάφους αλλά και για την μείωση εργατικών ατυχημάτων. Γι' αυτό τον λόγο οι τεχνικοί που εργάζονται πάνω στην συντήρηση και την επισκευή των αεροσκαφών θα πρέπει να είναι πιστοποιημένοι ότι μπορούν να εργαστούν πάνω σε αυτά.

Η διαδικασία πιστοποίησης ενός τεχνικού για την επισκευή και συντήρηση ενός αεροσκάφους ορίζεται από τον ευρωπαϊκό οργανισμό ασφαλών πτήσεων (EASA) η οποία έχει έδρα στην Φραγκφούρτη.

Ο ευρωπαϊκός οργανισμός ασφαλών πτήσεων ορίζει τα προσόντα που χρειάζονται οι τεχνικοί για την επισκευή και την συντήρηση των αεροσκαφών έτσι ώστε να αποκτήσουν την άδεια Part 66. Με αυτήν την άδεια αποκτούν το προνόμιο να εργάζονται στα αεροσκάφη, αλλά και το δικαίωμα του CRS (certificate release service), δηλαδή να μπορούν να πιστοποιήσουν την εργασία συντήρησης ή επισκευής στο αεροσκάφος αλλά και ότι το αυτό είναι κατάλληλο για πτήση.

Η άδεια Part 66 χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :

Κατηγορία Α : Αυτήν την κατηγορία της άδειας την κατέχουν συνήθως τεχνικοί όπου αποτελούν το βοηθητικό προσωπικό. Οι κάτοχοι αυτής της άδειας μπορούν να ασχοληθούν με περιορισμένες εργασίες πάνω στο αεροσκάφος και μπορούν να πιστοποιήσουν μόνο αυτές.

Κατηγορία Β : Αυτήν την κατηγορία της άδειας την κατέχει το προσωπικό συντήρησης και επισκευής του αεροσκάφους. Το προσωπικό που είναι κάτοχος αυτής της άδειας μπορεί να ασχοληθεί με σύνθετες εργασίες πάνω στο αεροσκάφος και έχει την δυνατότητα να πιστοποιήσει οποιαδήποτε εργασία πάνω στο αεροσκάφος καθώς και να πιστοποιήσει και το ίδιο το αεροσκάφος ότι είναι ικανό για πτήση.

Για την απόκτηση της άδειας Part 66 ένας ενδιαφερόμενος θα πρέπει να έχει ολοκληρώσει όλες τις ενότητες εκπαίδευσης που ορίζει η Part 147. Αυτή η εκπαίδευση αποτελείται από θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο.

Αρχικά οι πέντε κατευθύνσεις εκπαίδευσης που μπορεί να ακολουθήσει κάποιος στο θεωρητικό κομμάτι είναι οι εξής :

- B 1.1 εκπαίδευση για αεροπλάνα με αεριοστροβίλους
- B 1.2 εκπαίδευση για αεροπλάνα με πιστόνια
- B 1.3 εκπαίδευση για ελικόπτερα με αεριοστροβίλους
- B 1.4 εκπαίδευση για ελικόπτερα με πιστόνια
- B 2 εκπαίδευση για ηλεκτρολόγους και ηλεκτρονικούς σε αεροσκάφοι

Στο θεωρητικό κομμάτι για όλες τις παραπάνω κατευθύνσεις ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να εξεταστεί σε δέκα μαθήματα γενικής γνώσης τα οποία είναι τα εξής (Σχήμα 4.2):

1. Μαθηματικά (Mathematics)
2. Φυσική (Physics)
3. Βασικές αρχές ηλεκτροτεχνία (Electrical fundamentals)

4. Βασικές αρχές ηλεκτρονικής (Electronic fundamentals)
5. Ψηφιακά ηλεκτρονικά/ηλεκτρονικά όργανα και συστήματα (Digital techniques/ Electronic instruments systems)
6. Υλικά (Material & Hardware)
7. Πρακτική συντήρησης (Maintenance practices)
8. Βασική αεροδυναμική (Basic aerodynamics)
9. Ανθρώπινοι παράγοντες (Human factors)
10. Αεροπορική νομοθεσία (Aviation legislation)

Στην συνέχεια ανάλογα με την ειδικότητα που θέλει να ακολουθήσει ενδιαφερόμενος θα πρέπει να εξεταστεί σε κάποια μαθήματα ειδικής γνώσης τα οποία είναι απαραίτητα για την συγκεκριμένη ιδιότητα την οποία επέλεξε. Αυτά τα μαθήματα ανάλογα με τις κατευθύνσεις είναι τα εξής :

Κατεύθυνση B 1.1

1. Αεροδυναμική τουρμπίνας αεροπλάνων, δομές και συστήματα (Turbine airplane aerodynamics, structures & systems)
2. Αεροστρόβιλοι κινητήρες (Gas turbine engines)
3. Έλικες (Propellers)

Κατεύθυνση B 1.2

1. Συστήματα εμβόλων αεροπλάνων (Piston airplane systems)
2. Εμβολοφόροι κινητήρες (Piston engines)
3. Έλικες (Propellers)

Κατεύθυνση B 1.3

1. Αεροδυναμική ελικοπτερου (Helicopter aerodynamics)
2. Αεροστρόβιλοι κινητήρες (Gas turbine engines)

Κατεύθυνση B 1.4

1. Αεροδυναμική ελικοπτερου (Helicopter aerodynamics)
2. Εμβολοφόροι κινητήρες (Piston engines)

Κατεύθυνση B 2

1. Αεροδυναμική αεροσκαφών δομές και συστήματα (Aircraft aerodynamics, structures & systems)
2. Προώθηση (Propulsion)

Modularization Per Category

		Modules Required Per Category					
MODULE	MODULE DESCRIPTION	Number of EXAMS Questions	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B2
B1.1	Aeroplanes Turbine						
B1.2	Aeroplanes Piston						
B1.3	Helicopters Turbine						
B1.4	Helicopters Piston						
B2	Avionics (Communications, Radio, Radar, Instrumnets, Electrics, Autopilot)						
MODULES FOR B1/B2 With Highest Levels							
1 - Com	Mathematics	32 MC	✓	✓	✓	✓	✓
2	Physics - B1	52 MC	✓	✓	✓	✓	✓
3 - Com	Electrical Fundamentals	52 MC	✓	✓	✓	✓	✓
4	Electronic Fundamentals - B2	20/40 MC	✓	✓	✓	✓	✓
5	Digital Techniques / Electronic Instrument Systems - B2	40/72 MC	✓	✓	✓	✓	✓
6	Material & Hardware - B1	72/60 MC	✓	✓	✓	✓	✓
7A	Maintenance Practices - B1 + 7.4 at B2	80 / 60 MC + 2 Ess	✓	✓	✓	✓	✓
8 - Com	Basic Aerodynamics	20 MC	✓	✓	✓	✓	✓
9A - Com	Human Factors	20 MC + 1 Ess	✓	✓	✓	✓	✓
10 - Com	Aviation Legislation	40 MC + 1 Ess	✓	✓	✓	✓	✓
11A	Turbine Aeroplane Aerodynamics, Structures & Systems	140 MC	✓				
11B	Piston Aeroplane Systems	100 MC		✓			
12	Helicopter Aerodynamics	128 MC			✓	✓	
13	Aircraft Aerodynamics, Structures & Systems	180 MC					✓
14	Propulsion	24 MC					✓
15	Gas Turbine Engines	92 MC	✓		✓		
16	Piston Engines	72 MC		✓		✓	
17A	Propellers	32 MC	✓	✓			

4.2 Πίνακας με κατεύθυνσης και απαιτούμενα μαθήματα. [10]

Τέλος οι εξετάσεις όλων των παραπάνω μαθημάτων διεξάγονται στην υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας (ΥΠΑ).

Για το πρακτικό κομμάτι ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να έχει αποκτήσει πρακτική εκπαίδευση για πέντε χρόνια εάν είναι μόνο απόφοιτος λυκείου, τρία χρόνια εάν είναι και απόφοιτος κάποιου τεχνικού κολεγίου και τέλος ένα χρόνο εάν κάποιος έχει εργαστεί σε στρατιωτική ή αστυνομική αεροπορία για περισσότερα από τέσσερα χρόνια.

Με την ολοκλήρωση της θεωρητικής και της πρακτικής εκπαίδευσης ο ενδιαφερόμενος μπορεί να καταθέσει τα πιστοποιητικά του στην υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας (ΥΠΑ), η οποία θα του εκδώσει την άδεια Part 66.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^Ο ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία φάνηκε ότι από την εμφάνιση του πρώτου αεριοκινητήρα έχει σημειωθεί σημαντική εξέλιξη στους κινητήρες σε τεχνολογικό και κατασκευαστικό επίπεδο πετυχαίνοντας καλύτερες επιδόσεις. Αυτό έχει επιτευχθεί με την χρήση καλύτερων υλικών και αυτοματοποιημένων συστημάτων. Επίσης, μέσα από την πτυχιακή εργασία τονίστηκε το πόσο απαιτητική και πολύπλοκη είναι η λειτουργία των αεριοστρόβιλων κινητήρων, αλλά και το πόσο δύσκολη είναι η συντήρησή τους. Η σωστή συντήρηση των κινητήρων είναι πολύ σημαντική διότι η εμφάνιση κάποιας βλάβης, από λάθος στην διαδικασία της συντήρησης, σε ώρα πτήσης μπορεί να επιφέρει θανατηφόρο ατύχημα. Γι' αυτό το λόγο, οι μηχανικοί που θα ασχοληθούν με την συντήρηση των αεριοκινητήρων θα πρέπει να έχουν γνώση, εμπειρία, να είναι ακέραιοι χαρακτήρες, οργανωτικοί και τελειομανείς με την εργασία τους αλλά και πιστοποιημένοι ότι μπορούν να ικανοποιήσουν τις εργασίες συντήρησης.

Συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους, αλλά και ένα άλλο βασικό και απαραίτητο κομμάτι που είναι η προγραμματισμένη και μη συντήρηση που βοηθάει στη μακροχρόνια και σωστή λειτουργία του κινητήρα.

Τέλος, μετά το πέρας της ανάγνωσης αυτής της πτυχιακής εργασίας ο αναγνώστης θα μπορεί να γνωρίζει:

- Την αρχή λειτουργίας των αεριοκινητήρων καθώς και την βασική δομή τους.
- Τις κύριες κατηγορίες στις οποίες αυτοί διακρίνονται, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μεταξύ αυτών.
- Τους βασικούς τύπους συντήρησης (Προγράμματα – Επίπεδα συντήρησης, 1^{ος}-, 2^{ος} και 3^{ος} βαθμός συντήρησης)
- Τα μέρη του κινητήρα στα οποία απαιτείται συντήρηση αλλά και οι πιο συχνές βλάβες σε αυτά.
- Τη διαδικασία πιστοποίησης των μηχανικών αεροσκαφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Rolls Royce, “The Jet Engine”, 2015
2. Καρέλας,Ε. Τριαντάφυλλος, Ι. Φρέσκος, < Κινητήρες Αεροσκαφών Ι,ΙΙ >, Ο.Ε.Δ.Β, Παιδαγωγικό ινστιτούτο, Αθήνα 2004
3. P. Boyce, “Gas Turbine Engineering Handbook”, 2011
4. Klaus Huneckle, “Jet Engines: Fundamentals of Theory, Design and Operation”, 2006
5. Απόστολος Πολυζάκης, Λειτουργία Αεροστροβίλων και Παραγωγή Ενέργειας – Προώθηση , 2012

Ηλεκτρονικές Πηγές

6. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%BF>
- 7.
8. http://www.pw.utc.com/F100_Engine
9. www.pw.utc.com/Content/Press_Kits/pdf/me_f100_pw_229.pdf
10. http://www.air.flyingway.com/books/engineering/CFM56-3/ctc-142_Line_Maintenance.pdf
11. <http://ikarosaviationtraining.com/Gr/basic-licence-training/>
12. <http://www.alamy.com/stock-photo-airbus-a400m-military-transport-plane-close-up-of-turboprop-propellers-31262049.html>
13. <http://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/how-does-a-jet-engine-work/>
14. <https://www.quora.com/What-is-the-basic-difference-between-turbojet-and-turbofan-engine>
15. <http://www.pronews.gr/portal/item/mitsubishi-a6m-zero-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-fiat-g50-%CF%84%CE%B1-%CE%B9%CE%B1%CF%80%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B9%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%C2%AB%CE%B2%CE%AD%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B2-%CF%80%CF%80>
16. <http://www.championhobby.com/info.php?id=1006&name=%20%20Mazda%20Sport%20Z50>

17. http://www.redstar.gr/Foto_red/Aircraft/An_148.html
18. https://www.google.gr/search?q=Airbus+a380&rlz=1C1CHMO_elGR506GR506&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjC6Y3P7JbSAhWEUBQKHdBBD8EQ_AUIBigB#tbn=isch&q=%CF%85%CF%80%CE%B F%CF%85%CF%87%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE+%CE%B1%CF %84%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%BF%CF%82+%CE%B1%CE%B5% CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82&imgrc=D g2Ft5-3OzJ6M:
19. https://www.google.gr/search?q=Airbus+a380&rlz=1C1CHMO_elGR506GR506&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjC6Y3P7JbSAhWEUBQKHdBBD8EQ_AUIBigB#tbn=isch&q=%CF%85%CF%80%CE%B 5%CF%81%CE%B7%CF%87%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE+%CE %B1%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%BF%CF%82+%CF%8635 &imgrc=I9anudKa2w44-M:
20. https://www.google.gr/search?q=Airbus+a380&rlz=1C1CHMO_elGR506GR506&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjC6Y3P7JbSAhWEUBQKHdBBD8EQ_AUIBigB#tbn=isch&q=%CE%BC%CE%B1%CF% 87%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C+%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE %BF%CF%83%CE%BA%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82+%CF%83%CE%B8- 35&imgrc=cmMS8DkF3M-EWM:
21. https://www.google.gr/search?q=Airbus+a380&rlz=1C1CHMO_elGR506GR506&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjC6Y3P7JbSAhWEUBQKHdBBD8EQ_AUIBigB#tbn=isch&q=%CE%B2%CE%BF%CE% B5%CE%B9%CE%BD%CE%B3+787&imgrc=pGpqP7gztujBjM: