



تحلیل و بررسی و رفع ارتعاشات روتور اصلی و دم هلیکوپتر در شرایط مختلف

صادق زرقامی پرست^۱، فتح الله امی^۲

۱- کارشناسی ارشد هوافضا-آیرودینامیک، دانشگاه تربیت مدرس، golnarges314@gmail.com

۲- دکتری مهندسی مکانیک- هوافضا، دانشگاه صنعتی مسکو، fommi@modares.ac.ir

چکیده:

ارتعاشات در هلیکوپترها از جمله عوامل مهم تاثیرگذار بر عملکرد، ایمنی و راحتی سرنشینان محسوب می شود. این مقاله به بررسی انواع ارتعاشات در هلیکوپتر شامل ارتعاشات پایین فرکانس و بالا فرکانس، علل ایجاد آنها مانند عدم تعادل در تیغه های روتور و مشکلات مکانیکی ف و همچنین روش های موثر برای کاهش این ارتعاشات از جمله بالانس تیغه ها، بهبود طراحی آیرودینامیکی و استفاده از سیستم های جذاب ارتعاش می پردازد. هدف از این بررسی ارائه راهکارهایی جهت بهینه سازی عملکرد و افزایش ایمنی هلیکوپترها است.

واژه های کلیدی: ارتعاش، هلیکوپتر، ملخ، frequency.vibration

مقدمه:

ارتعاشات در هلیکوپترها یکی از مهم ترین مباحث در حوزه طراحی، نگهداری و بهره برداری از این وسیله نقلیه هوایی است. این ارتعاشات می تواند تاثیرات جدی بر عملکرد، ایمنی و راحتی سرنشینان داشته باشند. شناسایی منابع این ارتعاشات و ارائه راهکارهای کاهش آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هلی کوپتر از قطعات چرخنده بسیار زیادی تولید شده و کوچکترین نقص در هر کدام از این قطعات باعث لرزش (Vibration) در هلی کوپتر میشود. یکی از اصلی ترین قطعات، ملخ هلی کوپتر است که خیلی با مشکل روبرو میشود.



نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا

9th International Conference on Technology Development in Mechanical and Aerospace Engineering

پیشینه تحقیق:

در سال های اخیر ، تحقیقات گسترده ای در زمینه شناسایی و کنترل ارتعاشات هلیکوپترها انجام شده است. مطالعات نشان می دهد که بهینه سازی طراحی تیغه های روتور و استفاده از سیستم های جاذب ارتعاش هوشمند (smart vibration dampers) صورت گرفته است که با استفاده از سنسورها و کنترل کننده های تطبیقی ، به کاهش ارتعاشات در زمان واقعی کمک می کند.

مدل های تحلیلی ارتعاشات:

برای تحلیل ارتعاشات هلیکوپترها از مدل های تحلیلی مختلفی استفاده می شود:

- مدل اجزای محدود (finite element model): برای تحلیل ساختاری و بررسی نقاط ضعف مکانیکی
- مدل دینامیکی روتور (rotor dynamic model): برای شبیه سازی رفتار روتور در شرایط مختلف پرواز.
- مدل آیرودینامیکی (aerodynamic model): برای بررسی تاثیر جریان های هوا و توربولانس بر تیغه ها.

در بالگرد چند نوع vibration داریم:

Low frequency

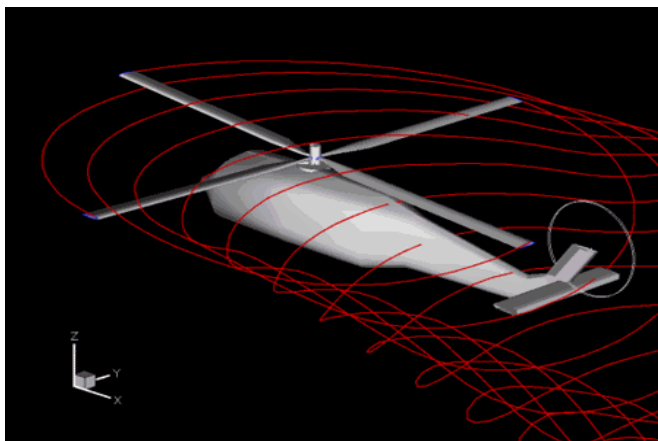
High frequency

Medium frequency

:Low frequency vibration

عمودی (vertical vib)

افقی (lateral vib)





چه مواردی باعث **vertical vib** میشوند؟

- 1) worn pitch change link & rod & bearing
- 2) worn bearing in collective lever
- 3) Internal wear or damage in main rotor hub
- 4) Excessive wear in scissors
- 5) Rotor blade out of track

در **vertical vib** باید به نکات زیر توجه کرد:

(۱) شستن ملخ ها

(۲) دو سر blade را مارک می زنیم و آماده می کنیم

(۳) Low rpm %90 & Torque %38

(۴) پرچم میگیریم اگر خط روی خط بود (خوب بود) به خلبان می گوییم

(۵) High rpm %100 & Torque %38

(۶) پرچم می گیریم اگر خط بالا زد می رویم سراغ lateral vib

نکته: هرچه قدر pitch link بزرگتر باشد سر blade پایین تر می آید

چه عواملی باعث **lateral vib** (افقی) می شوند؟

- 1) Stabilizer bar unbalance
- 2) Rotor spanwise unbalance
- 3) Rotor chordwise unbalance

برای lateral vib به نکات زیر توجه کنید:

(۱) انتخاب یکی از bladeها (سبک تر)

(۲) چسب ۱۲ اینچی یا ۵ سانتی متری دور blade می زنیم (هر دو چسب ۲ گرم)

(۳) بالگرد در حالت hover چک شود

(۴) اگر خوب بود، چسب زدن را ادامه می دهیم

(۵) اگر روی blade سبک تر نتیجه نداد blade ، سنگین تر را انتخاب می کنیم.

(۶) اگر جواب گرفتیم ، چسب را وزن می کنیم و به همان اندازه (۱۰ برابر وزن چسب) وزنه در Bolt grip می ریزیم. 10 برابر

کنید سپس وزنه اضافه کنید وزنه Example: $4 \times 10 = 40$

(۷) بالگرد را در سرعت های مختلف چک کنید

(۸) اگر در سرعت ۷۰ نات دچار مشکل شد trim tap ، را تنظیم می کنیم.

(۹) اگر با trim tap اشکال رفع شد ، می رویم سراغ چک Rpm

(10) اگر اشکال رفع نشد می رویم سراغ swee ping





نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا

9th International Conference on Technology Development in Mechanical and Aerospace Engineering

نکاتی که باید در Swee ping رعایت شود:

(۱) انتخاب blade دلخواه

(۲) Drag brace را طبق برچسب AFT یک دور می چرخانیم.

(۳) اگر درست نشد و بدتر شد، در blade دیگر نیز این کار را تکرار می کنیم بشرط اینکه blade اولی را به حالت قبل برگردانیم

(۴) اگر به طور کلی درست نشد blade ، را پایین می آوریم و در روی زمین توسط دوربین تنظیم می کنیم.

نکات مهم:

در Swee ping ما مجاز نیستیم Drag brace را بیشتر از ۲ فلات بچرخانیم.

گرفتن پرچم سمت ساعت ۱۱ باید باشد زیرا نقطه ی فرار blade می باشد.

خط بالای پرچم را پایین می آوریم زیرا در غیر این صورت Rpm بالا می رود.

هر flat روی pitch link ۱.۵ سانتی متر می باشد(تجربی)

موقع پرچم گرفتن حتما باید trim tap را صفر کنیم

هر چه pitch link کوتاه تر باشد سر blade بالا می رود و هرچه بلندتر باشد سر blade پایین می رود.

موقع دست زدن به pitch link اولویت اول vib می باشد. اولویت دوم Rpm

هنگام vib فقط یک pitch link را تنظیم می کنی(هرکدام که بالاتر بود)

معنی NF و Torque یکی می باشد

Eng Torque بین (۱۸٪- ۲۳٪) می باشد





نحوه ی چک کردن Autorotation:

- ۱) Air speed of helicopter 70 knot
- 2) throttle at flight idle
- 3) collective full down
- 4) weight 9500 pound

اگر Rpm بالا بود چه نکاتی را رعایت کنیم؟ (Rpm is high)

۱) Pitch link دارای ۶ عدد flat می باشد که هر flat حدودا ۲.۵ درصد افزایش یا کاهش Rpm را دارد.

۲) هر دو pitch link را کوتاه می کنیم (به اندازه هم)

اگر Rpm پایین بود چه نکاتی را رعایت کنیم؟ (Rpm id low)

۱) هر دو pitch link را به اندازه هم بلند می کنیم

نکات مهم:

Rpm نباید بیشتر از ۱۰۴.۵ باشد. اگر بیشتر بود میگوییم over speed شده (دور بیش از حد)

پایین ترین Rpm ۹۸٪ می باشد. اگر بین ۹۸٪ تا ۱۰۴.۵٪ بود خوب است.

اگر Rpm زیر ۹۲٪ باشد از گوشی خلبان صدای آلامر شنیده میشود. در قسمت caution panel چراغ Rpm روشن می شود

در فصل تابستان ۱۰۲٪ و در زمستان ۱۰۰٪، زیرا در زمستان مولکول ها چسبیده و در تابستان فاصله مولکولی داریم. پس از چک RPM حتما باید رزوه های Pitch link چک شوند.





❑ چه عواملی باعث بوجود آمدن High frequency vibration می شوند؟

(1) ۴ عدد پیچ tail boom شل باشد.

(۲) tail rotor out of track

(3) tail rotor out of balance

(4) loose tail rotor retaining nut

(5) tail rotor pitching link bent

(6) worn of loose pitching link tube bearing

(7) gear box 42* and 90* mounting loose

(8) tail rotor yoke bearing is loose

❑ برای برطرف نمودن high frequency vibration چه اقداماتی را انجام می دهیم؟

(۱) ساختن اسپشیل مخصوص - فاصله ی نوک اسپشیل ۱.۴ اینچ

(۲) زمان start سمت کمک خلبان می ایستیم

(۳) ground run at 100% Rpm

(4) pedals is natural position

ابزار مخصوص را مارک زده و به blade نزدیک می کنیم. تا اینکه کوچکترین تماسی به blade داشت جدا میکنیم و موتورها را خاموش کرده و tail rotor blade را چک می کنیم اگر هر از blade ها رنگی شده بود pitch change link , آن blade که رنگی نشده را نصف دور کوتاه می کنیم.

مجدد استارت زده و مجدد این عمل را تکرار می کنیم و خاموش کرده و حالا چک می کنیم. و حالا pitch change link آن blade که نخورد را نصف دور بلند می کنیم. مجدد استارت زده و عمل را انجام می دهیم . خاموش کرده چک می کنیم. این عمل را تا زمانی که هر دو blade رنگی شوند انجام می دهیم. زمانی که هر دو blade رنگی شدند یعنی هردو آنها در یک راستا چرخش دارند و balance هستند.



نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا 9th International Conference on Technology Development in **Mechanical and Aerospace Engineering**

چه عواملی باعث **Medium frequency vibration** می شود؟

(1) loose of doors , skid , covers ,cowlings

(2) skids & saddle

(3) gross weight unbalance

(4) fuel level unbalance



دستگاه **vibrex** چیست؟

یک نوع دستگاه تعادل دینامیکی است که بعنوان یک ابزار تشخیص و رفع ارتعاشات و لرزش های ماشین آلات و سیستم های مختلف استفاده می شود. این دستگاه بطور معمول برای تشخیص و رفع ارتعاشات ناشی از عدم تعادل در قطعات ماشین آلات , موتورها و سایر تجهیزات صنعتی استفاده می شود.

به کمک دستگاه **vibrex** می توان ارتعاشات زاویه ای و خطی را اندازه گیری و تحلیل کرده و سپس بهبودهای لازم را برای کاهش این ارتعاشات اعمال کرد.

نکات مهم:

اگر سرعت صفر تا ۶۰ نات هر vibration داشتیم می ریم با **pitch change link** رفع می شود.

اگر ۶۰ نات به بالا باشد با **Trim tab** رفع می شود.

اول پرچم می گیریم که ما باید حتما در ۹۰% NF خط روی خط باشد. یعنی آن قدر **Pitch change link** بالا و پایین می کنیم تا در ۹۰٪ خط رو خط باشد.

حالا در ۱۰۰٪ قرمز یا آبی بالا می زند.

حالا در **Hover** چک می کنیم. اگر **Lateral** داشتیم (زیر پا می زند. اگر با دستگاه **Vibrex** نصب کرده باشیم. از صفر تا ۱ است. یعنی اگر از ۱ بالا رفت یعنی لرزش داریم)

حالا می آییم **Blade** سبک تر را انتخاب می کنیم (روی تک نوشته) و سبک تر را انتخاب می کنیم. ۲ دور چسب کاغذی ۵ سانتی می زنیم روی **Tip** ملخ (۲۴۱.۷ پوند و ۲۴۱.۸ پوند) و مجدد می ریم در **Hover** اگر دیدیم بهتر شده همین را ادامه می دهیم

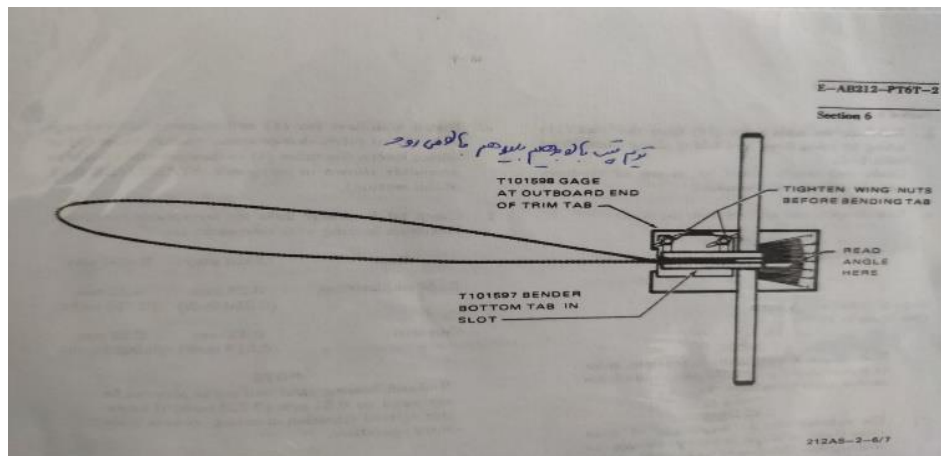


نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا

9th International Conference on Technology Development in Mechanical and Aerospace Engineering

و می آیم پایین یک دور می زنیم. (باتوجه به دستگاه و لرزش زیر پا) اگر بهتر شد ادامه می دهیم اگر به آن نتیجه مطلوب کامل رسیدیم ادامه نمی دهیم.

حالا اگر بدتر شد چپ را باز می کنیم و blade دیگر را امتحان می کنیم و هر چقدر که چسب زدیم باز می کنیم و روی ترازوی دیجیتال وزن می کنیم.



مثلا ۶ گرم چسب زدیم ضرب در ۱۰ می کنیم می شود ۶۰ گرم به اندازه ۶۰ گرم سرب اضافه می کنیم به Boot ملخ روی blade که بهتر بوده سرب اضافه می کنیم.

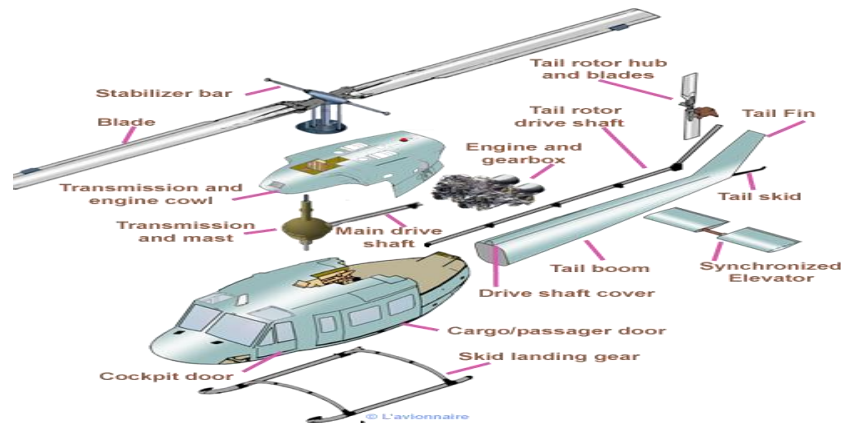
وقتی سرب ریختیم یعنی lateral vib ما ok است. حالا مجدد می آیم Hover حالا می رویم سراغ vertical حالا بالگرد را می دوانیم یعنی در سرعت بالا. (البته بالا ۶۰ نات دارد با توجه به تجربه)

Blade که در ۱۰۰٪ NF بالا زده بود trim tab, آن را پایین می آوریم. چون هرچقدر trim tab را بالا بدهیم سر blade بالا می رود ولی در مورد pitch change link برعکس می شود. هر چقدر pitch change link ها را بلند کنیم سر blade پایین می آید و کوتاه کنیم سر blade بالا می رود.

یک درجه همان blade که در ۱۰۰٪ NF بالا زده بود، یک درجه trim tab را پایین می دهیم. اگر بهتر شد ادامه می دهیم تا به نتیجه دلخواه برسیم.

اگر بدتر شد به حالت قبل می آوریم و blade دیگری را امتحان می کنیم.

نکته: در ابتدای تشخیص نوع vibration پرچم گیری می کنیم. ولی بعد از آن با دستگاه vibrex عمل می کنیم. البته با توجه به تجربه در حال حاضر معمولا در ۹۰ الی ۱۰۰ تا در دستگاه vibrex ۴ می باشد.

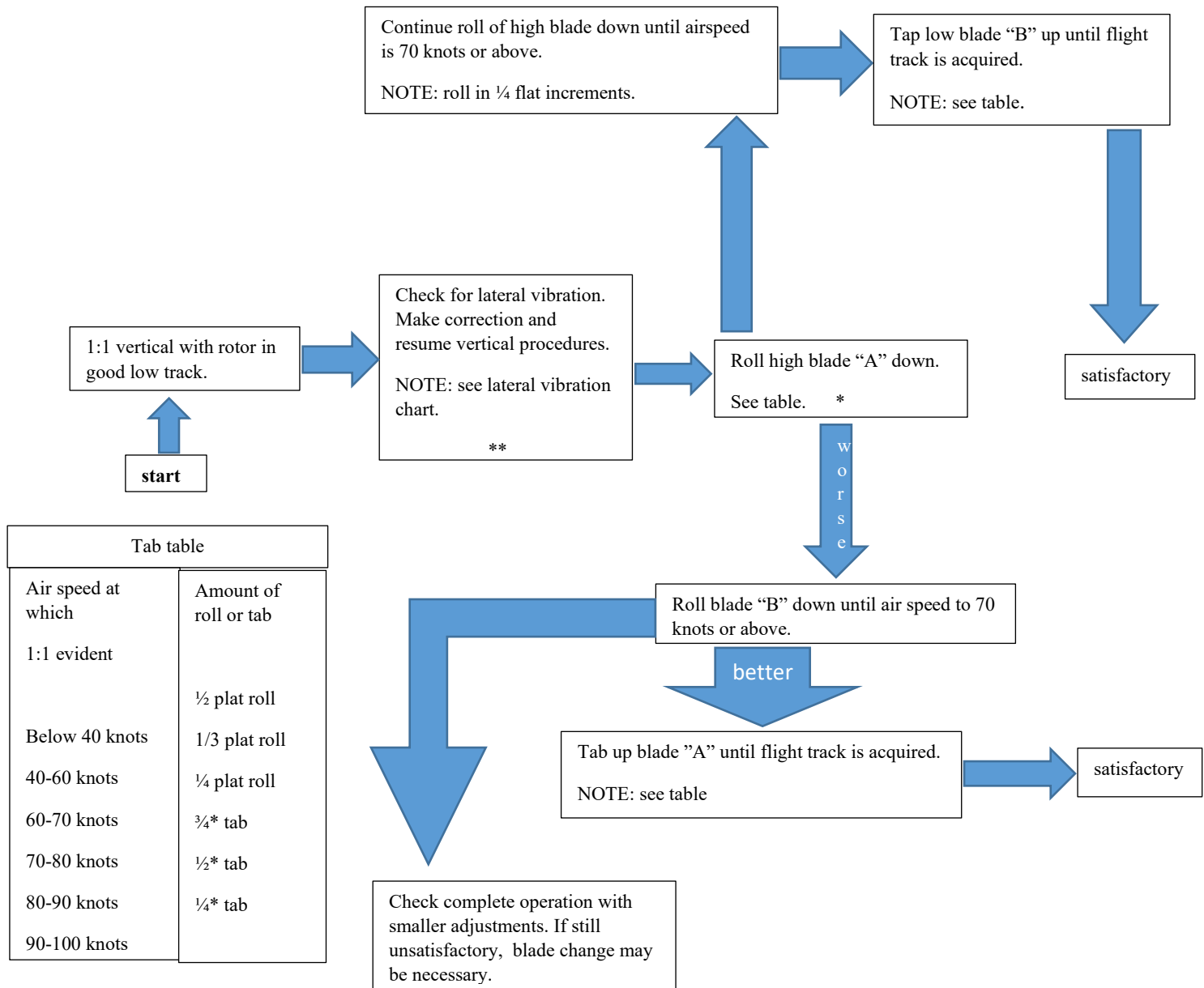


: Synchronized elevator

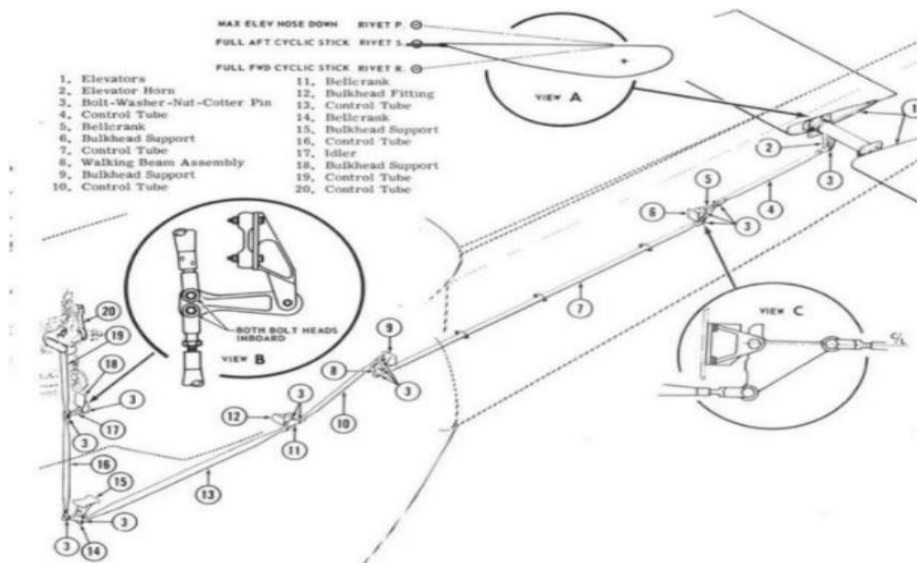
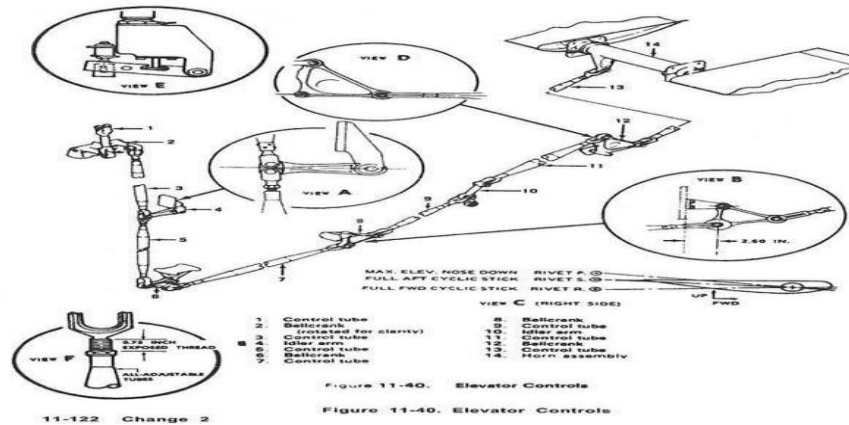
در نزدیکی و عقب tail boom قرار گرفته اند. توسط کابل و لوله های مربوطه و اتصالات و bellcranks ها به سیستم جلو و عقب برنده ی cyclic متصل شده اند. با توجه به عملکرد cyclic که هلی کوپتر را به جهت های مختلف هدایت می کند، برای جلو و عقب رفتن هلی کوپتر باعث تعادل و حفظ CG بالگرد می شود چون جلو و عقب دادن cyclic باعث می شود دماغه ی هلی کوپتر بالا و پایین بیاید برای جلوگیری از نامتعادل شدن هلی کوپتر Synchronized elevator با درجات مختلف و عملکردهای متفاوت نصب شده تا تعادل و CG هلی کوپتر را حفظ کند که البته با توجه به شکل Synchronized elevator که یک ایرفویل یه صورت وارونه نصب شده می باشد ، lift منفی تولید می کند.



نهمین کنفرانس بین المللی
توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا
9th International Conference on Technology Development in
Mechanical and Aerospace Engineering



Rotor smoothing procedure





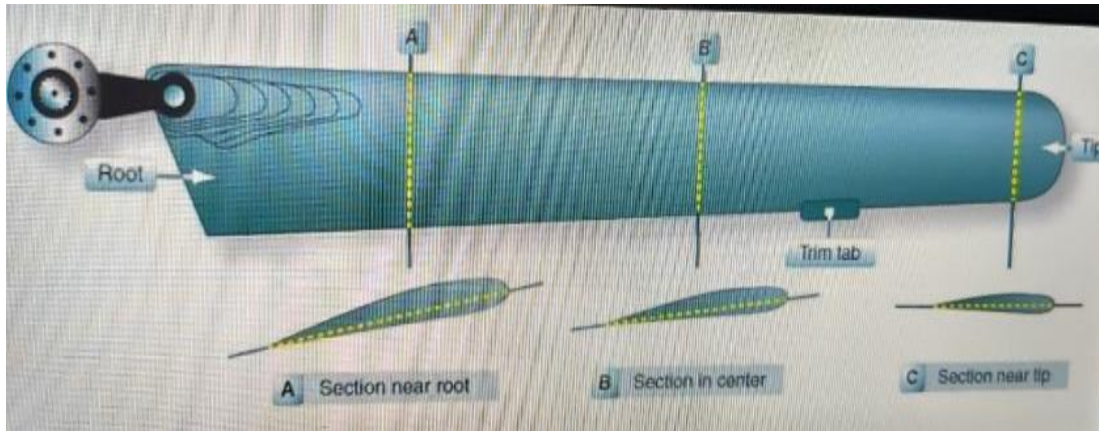
ملخ هلیکوپتر ۲۱۲



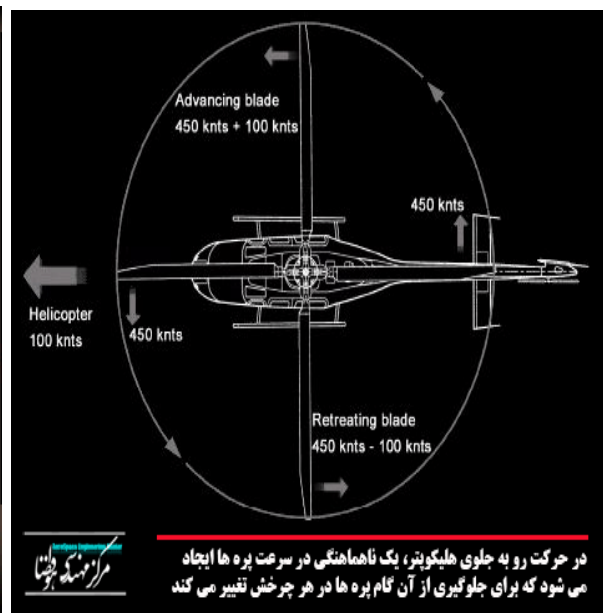
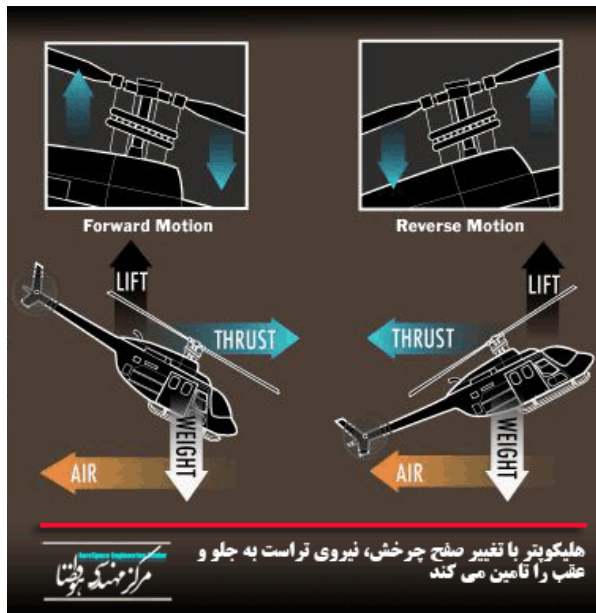
ملخ هلیکوپتر در وضعیت خراب تنظیم و در حال رفع گیر ارتعاش



نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا 9th International Conference on Technology Development in **Mechanical and Aerospace Engineering**

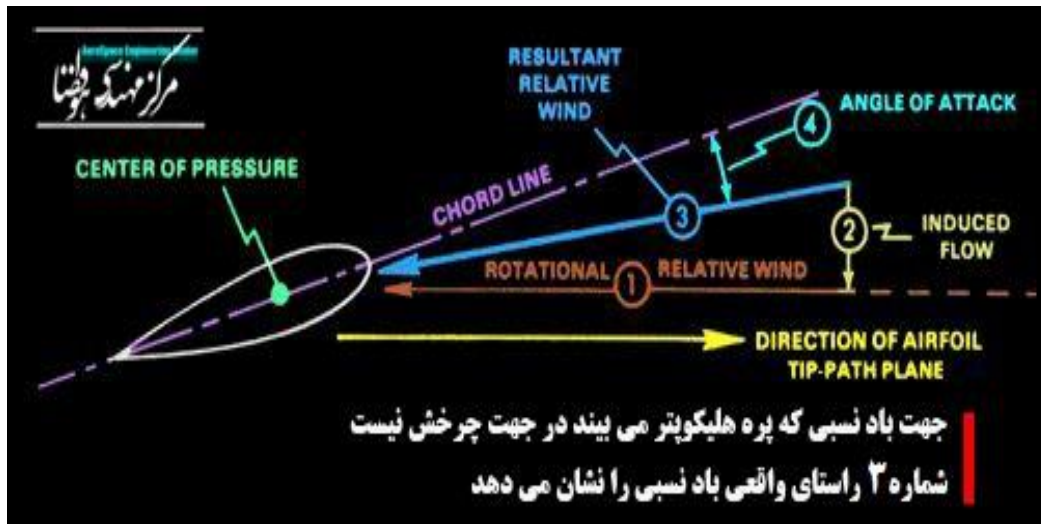


قسمت های مختلف ملخ هلیکوپتر





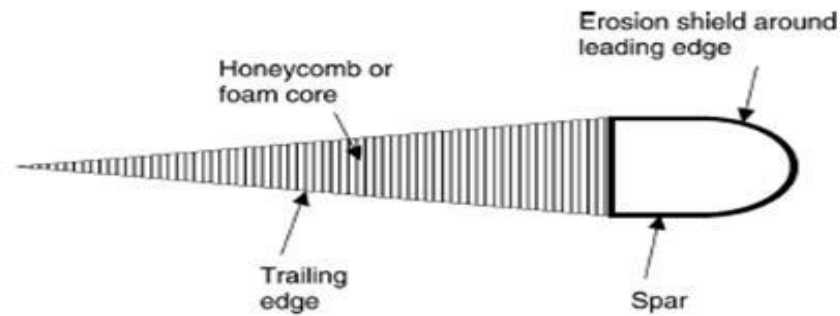
نهمین کنفرانس بین المللی
توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا
9th International Conference on Technology Development in
Mechanical and Aerospace Engineering



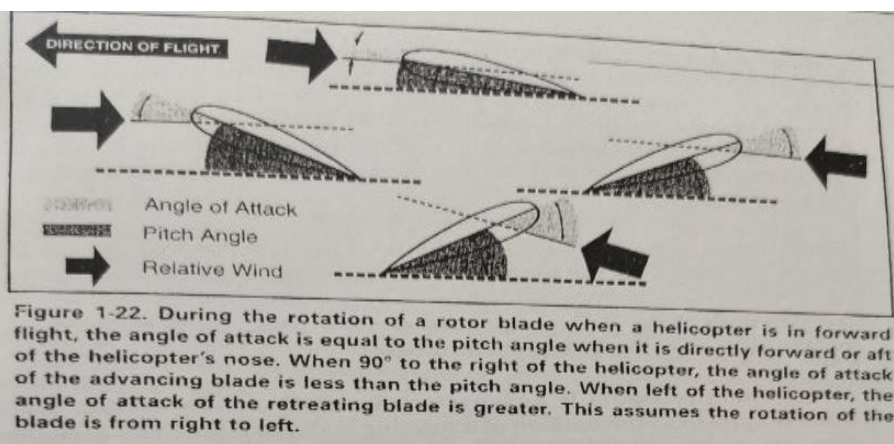
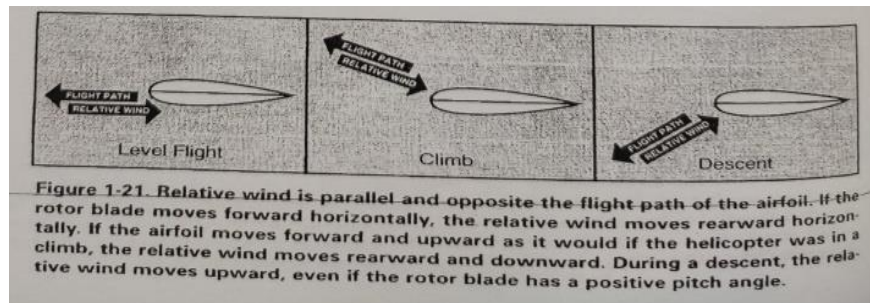
مشخصات و عوامل موثر بر ملخ هلیکوپتر



الگوی جریان برای هلیکوپتر در حالت ایستا



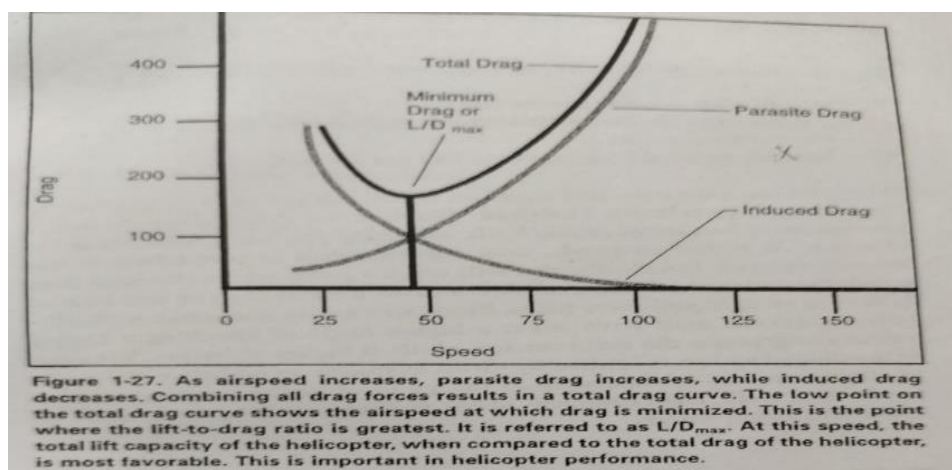
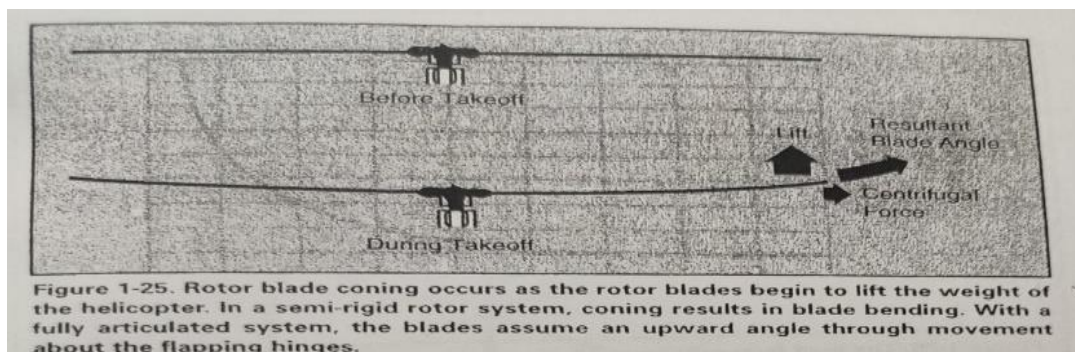
نمای برش خرده و جانبی ملخ هلیکوپتر



وضعیت های مختلف ملخ هلیکوپتر در پرواز



نهمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری در مهندسی مکانیک و هوافضا 9th International Conference on Technology Development in **Mechanical and Aerospace Engineering**



نمودار سرعت به درگ(نشان دهنده راندمان یا کمترین درگ)

نتیجه گیری:

مدیریت ارتعاشات در هلیکوپترها نیازمند درک عمیق از منابع ایجاد و روش های کنترل آن ها است. با استفاده از فناوری های پیشرفته و نگهداری منظم ، می توان سطح ارتعاشات را کاهش داد و ایمنی و راحتی بیشتری برای سرنشینان فراهم کرد.



مراجع:

۱. مرکز مهندسی هوافضا
۲. کتاب «ارتعاشات در هلیکوپتر» - پایا فناوری اخگری
۳. مقاله «مدل سازی و تحلیل ارتعاشات آزاد مجموعه گیربکس و یاتاقان های بالگرد»
۴. مقاله «بررسی احتمال ایجاد پدیده تشدید در پره های روتور کامپوزیتی یک بالگرد»
5. Maintenance manual helicopters
6. www.asec.ir
7. Helicopter Vibrations – A Perspective (IJRAME)
8. An Analysis of The Reasons That Create Helicopter Vibrations and Vibration Reduction Techniques
9. A Review of Noise and Vibration Control Technologies for Rotorcraft (NASA)