

MODYFIKACJA WIRNIKA NOŚNEGO ŚMIGŁOWCA SOKÓŁ – RUCHOMY OGRANICZNIK ZWISU ŁOPAT

mgr inż. **Piotr DZIADOSZ**
PZL Świdnik S.A.

W trakcie eksploatacji śmigłowca Sokół zdarzały się przypadki uderzenia końca łopaty wirnika nośnego w belkę ogonową. Spowodowane to było najprawdopodobniej nagłym podmuchem wiatru w trakcie rozruchu wirnika w warunkach dopuszczalnych przez Instrukcję Użytkownika w Locie 180. W praktyce piloci wykonują rozruch wirnika tylko przy wietrze z przodu lub z boku. Unikają rozruchu nawet przy dopuszczalnym wietrze z tyłu. W związku z tym w PZL Świdnik S.A. podjęto prace mające na celu wyposażenie śmigłowca w „ruchomy” ogranicznik zwisu łopat. Założenia projektowe były następujące:

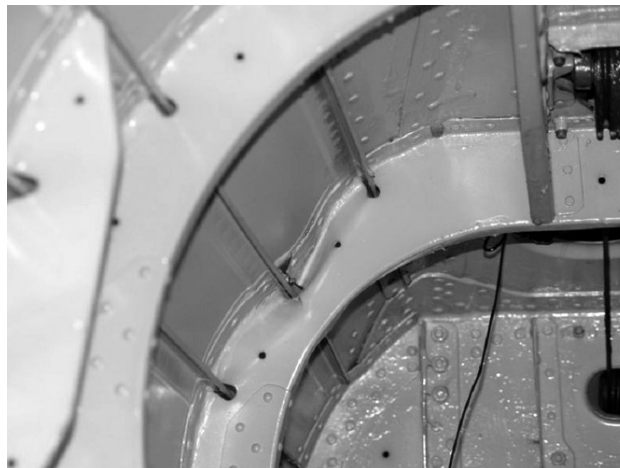
- urządzenie powinno być montowane na piaście wirnika nośnego przy wymianie minimalnej ilości części,
- dotychczasowe, stałe ograniczniki zwisu pozostają w konstrukcji piasty a w trakcie wyhamowywania wirnika pomiędzy nie wchodzi ograniczniki ruchome, które powodują zwiększenie prześwitu pomiędzy belką ogonową a łopata,
- minimalizacja masy konstrukcji.

Konstrukcja ruchomych ograniczników zapewniła zwiększenie prześwitu pomiędzy końcem łopaty WN a belką ogonową o około 40 cm. Założenia projektowe zostały spełnione. Urządzenie montuje się na piaście w miejsce podkładki pod nakrętkę czopa przegubu pionowego. Montażu można dokonać u użytkownika. Masa wprowadzanego ogranicznika wynosi 0,5 kg, (0,4% masy ramienia piasty i łopaty) a jego moment statyczny względem osi obrotu wirnika nośnego wynosi 0,16 kGm (0,07% momentu statycznego ramienia piasty i łopaty). Tak mała masa ograniczników nie wpływa na dotychczasowe ograniczenia eksploatacyjne piasty. W trakcie prób naziemnych przeprowadzonych z użyciem ruchomych ograniczników badano przypadki awarii urządzenia. Zarówno w przypadku kiedy wkładki jednego ogranicznika nie wyjdą pomiędzy ograniczników stałych w trakcie rozruchu wirnika, jak i kiedy te wkładki nie wejdą pomiędzy stałe ograniczniki w trakcie hamowania wirnika, nie występują żadne niepokojące zjawiska. Ponadto w trakcie prób naziemnych opracowano procedurę sprawdzenia, czy wkładki na wszystkich czterech ramionach piasty wyszły pomiędzy ograniczników stałych w trakcie rozruchu wirnika. Ruchome ograniczniki zwisu łopat obecnie poddawane są eksploatacji nadzorowanej na śmigłowcu. W ramach tej eksploatacji wykonano już 265 uruchomień i zatrzymań wirnika i za każdym razem wszystkie ograniczniki działały prawidłowo. W trakcie tych prób ograniczników wylatano 103 godziny.

Poważną niedogodnością utrudniającą eksploatację śmigłowca W-3 Sokół jest zbyt mały prześwit łopat wirnika nośnego nad belką ogonową. Powoduje to znaczne ograniczenie dopuszczalnego wiatru z tyłu w trakcie rozruchu wirnika, do 6 m/sek. W praktyce jednak piloci unikają rozruchu wirnika przy wietrze z tyłu nawet o dopuszczalnej wielkości. Jest to w pełni uzasadnione, gdyż zdarzały się już przypadki uderzenia końca łopaty w belkę ogonową. Takie zdarzenia skutkowały zniszczeniem bardzo drogiej łopaty i poważnym remontem fragmentu kadłuba. Czas przestoju śmigłowca był przeważnie dość długi.



Fot. 1. Uszkodzenie belki ogonowej śmigłowca W-3 na skutek uderzenia łopaty wirnika nośnego w trakcie rozruchu wirnika



Fot. 2. Uszkodzenie struktury belki ogonowej śmigłowca W-3 na skutek uderzenia łopaty wirnika nośnego w trakcie rozruchu wirnika – widok wnętrza belki ogonowej

Aby wyeliminować podobne zdarzenia postanowiliśmy wyposażyć śmigłowiec Sokół w ruchome ograniczniki zwisu łopat, które w trakcie postoju śmigłowca podpierają ramię piasty tak, aby znacząco zwiększyć prześwit, zaś w trakcie rozruchu wirnika, przy pewnej prędkości obrotowej, cofają się i zakres ruchu ramienia względem przegubu poziomego zwiększa się umożliwiając lot bez ryzyka uderzeń o ogranicznik.

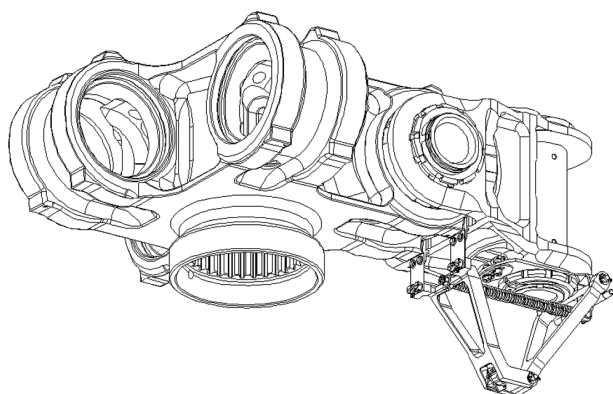
Założenia projektowe były następujące:

- urządzenie powinno być montowane na piaście wirnika nośnego przy wymianie minimalnej ilości części,
- dotychczasowe, stałe, ograniczniki zwisu pozostają w konstrukcji piasty a w trakcie wyhamowywania wirnika pomiędzy nie wchodzi ograniczniki ruchome powodując

zwiększenie prześwitu pomiędzy belką ogonową a łopata,
 - masę ruchomych ograniczników należy zminimalizować tak, aby nie wpływała ona na ograniczenia eksploatacyjne pozostałych części piasty.

Konstrukcję ruchomych ograniczników zwisu łopat przedstawiono na rysunku 1. Na rysunku tym pokazano głowicę piasty wirnika nośnego oraz łącznik i czop przegubu pionowego tylko na jednym ramieniu.

Podstawa ruchomych ograniczników zwisu łopat zamocowana jest pod nakrętką czopa przegubu pionowego w miejsce podkładki zabezpieczającej (rys. 1). Podstawa ta jest wykonana z blachy stalowej odpowiednio wygiętej i pospawanej tak, aby uzyskać wymaganą sztywność.

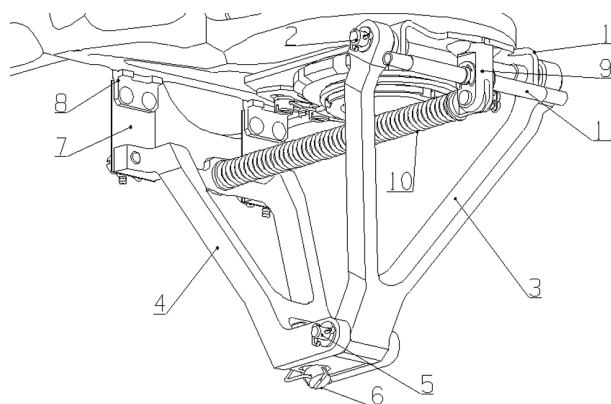


Rys. 1.

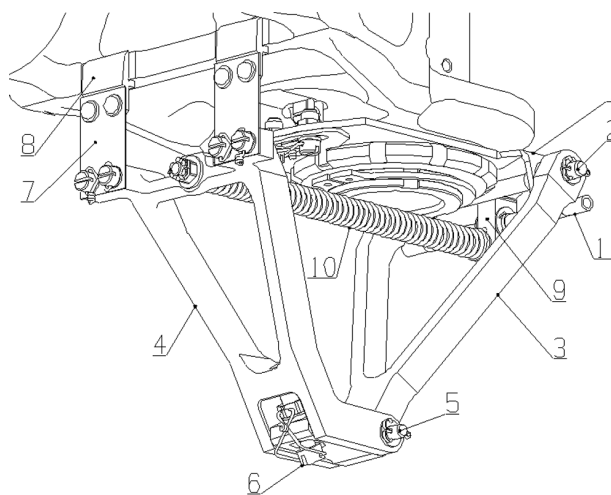
Do podstawy (poz. 1 na rys. 2 i 3) zamocowany jest przegubowo (oś poz. 2) główny element ograniczników w postaci dwóch dźwigni (poz. 3 i 4) połączonych przegubowo za pomocą osi (poz. 5) w formę litery V. Połączenie obu dźwigni umożliwia rozszerzanie lub zężanie ramion w celu kompensacji odległości pomiędzy zamocowaniem dźwigni do podstawy a przestrzenią pomiędzy ogranicznikami stałymi piasty. Odległość ta, czyli faktycznie kąt rozwarcia obu dźwigni, ustalana jest poprzez regulację wkrętem poz. 6. Do dźwigni poz. 4 za pomocą wkrętów zamocowane są sprężyste blaszki o grubości 0,5 mm (poz. 7) a do nich z kolei przynitowano zęby ogranicznika (poz. 8). Sprężyste blaszki są elementem kompensującym brak przylegania zęba ogranicznika do oporu stałego ze względu na ustawienie zęba pod pewnym kątem. Zęby ogranicznika wyposażone są w półki, które opierając się o powierzchnię łącznika blokują ruch całego mechanizmu przy wchodzeniu zębów ogranicznika pomiędzy stałe opory przy wyhamowywaniu wirnika.

Do podstawy poz. 1 przyspawany jest wysięgnik poz. 9 do którego przymocowane są trzpień z osadzoną na nim sprężyną poz. 10 oraz pręt poz. 11 stanowiący ogranicznik ruchu elementów obracających się względem osi poz. 2. Sprężyna jest wstępnie napięta a siłę napięcia reguluje się montując podkładki pomiędzy sprężyną a powierzchnią czółową trzpienia.

Ruchomy ogranicznik zwisu łopat jest mechanizmem działającym na zasadzie pokonywania siły naciągu wstępnego sprężyny przez siłę odśrodkową działającą na obracającą się względem osi (poz. 2 na rys. 2 i 3) elementy konstrukcji.



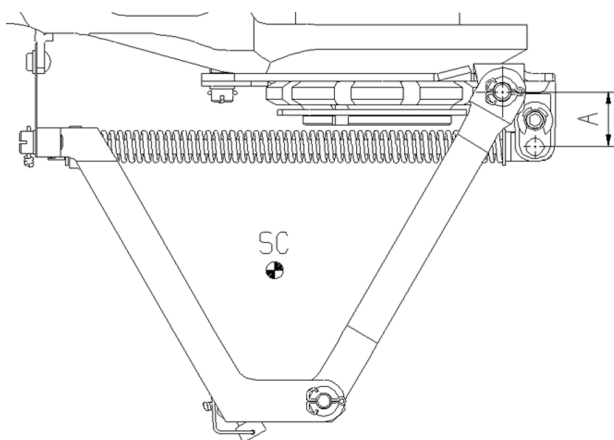
Rys. 2.



Rys. 3.

Przy nieruchomym wirniku śmigłowca siła napięcia wstępnego sprężyny działając na ramieniu „A” (rys. 4) utrzymuje mechanizm ogranicznika w pozycji w której zęby znajdują się między oporami stałymi. W trakcie rozruchu wirnika, wraz ze wzrostem prędkości obrotowej, rośnie siła odśrodkowa działająca na środek ciężkości (SC na rys. 4) obrotowej części mechanizmu ogranicznika. W pewnym momencie moment od tej siły zaczyna przewyższać moment od naciągu wstępnego sprężyny. Ogranicznik zaczyna się wychylać względem osi (poz. 2 rys. 2 i 3). Zęby ogranicznika wychodzą spod oporów stałych. W końcu ruchoma część ogranicznika opiera się o pręt (poz. 11 rys. 2 i 3). W takim położeniu ogranicznik otrzymuje się przez cały czas lotu śmigłowca.

Po wylądowaniu, w trakcie wyhamowywania wirnika nośnego następuje sytuacja odwrotna. Po spadku momentu od siły odśrodkowej poniżej momentu wynikającego z siły naciągu wstępnego sprężyny następuje obrót mechanizmu, zęby ogranicznika wchodzą pomiędzy opory stałe, ramię piasty osiada na ograniczniku.



Rys. 4.

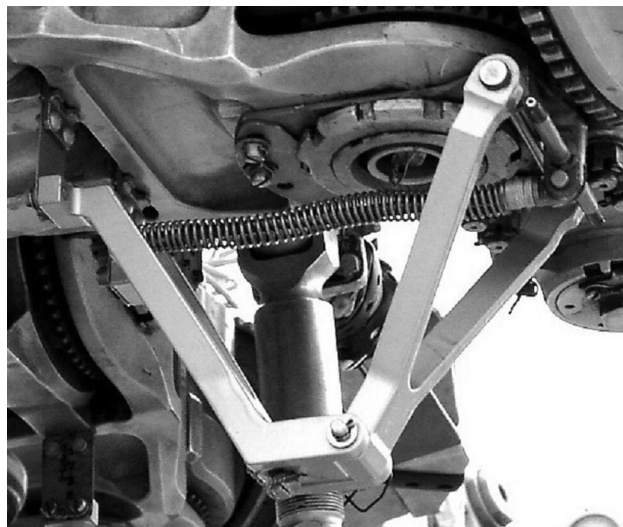
Podstawowym zagadnieniem w tego typu konstrukcji jest właściwe dobranie momentu wychylenia ogranicznika. Zadziałanie ogranicznika przy niskiej prędkości obrotowej wirnika nośnego daje większy zapas bezpieczeństwa przed przypadkowym wejściem między opory stałe zębów ogranicznika ruchomego w fazie lotu śmigłowca. Z drugiej jednak strony, ustawienie mechanizmu na zadziałanie przy zbyt niskich obrotach grozi przypadkiem, gdy zęby mechanizmu muszą „wpychać się” między opory stałe ponieważ stały kąt wahań w przegubie poziomym już jest niewielki. Skutkuje to wielokrotnymi uderzeniami ograniczników stałych o nie w pełni wsunięte ograniczniki ruchome a w крайnym przypadku ograniczniki ruchome nie wejdą pomiędzy stały w ogóle. Innym aspektem doboru momentu zadziałania mechanizmu jest wymaganie, aby ten mechanizm znajdował się w jednej z dwóch ustalonych pozycji (albo opory na zębach ogranicznika przylegają do łącznika, albo obracająca się część mechanizmu oparta o pręt-zderzak) w takich stanach rozruchu wirnika, które umożliwiają długotrwałe utrzymywanie prędkości obrotowej. Uniknie się w ten sposób długotrwałych obciążeń zmęczeniowych elementów mechanizmu i ewentualnych niespodziewanych uderzeń ramienia piasty o ograniczniki.

W przedstawionej konstrukcji zadziałanie mechanizmu następuje wtedy, gdy wirnik nośny osiąga około 40% prędkości obrotowej nominalnych. Zapewnia to wystarczający zapas do prędkości obrotowej na biegu jałowym przy jednym pracującym silniku śmigłowca (minimalnie 50% prędkości obrotowej). Jednocześnie przy tej prędkości obrotowej wirnika obciążenia łopaty wirnika nośnego i ramienia piasty nie są na tyle duże aby znacząco wpłynęły na nie nieuniknione uderzenia o ogranicznik.

Zaprojektowana konstrukcja została wykonana i zabudowana na śmigłowcu (fot. 3 i 4).



Fot. 3. Komplet ograniczników zwisu łopat wirnika nośnego na śmigłowcu



Fot. 4. Ogranicznik zwisu łopaty wirnika nośnego śmigłowca W-3

Przedstawiona konstrukcja spełnia wszystkie założenia projektowe:

- aby zamontować mechanizm do piasty należy zdemonstrować jedynie podkładki zabezpieczające nakrętki przegubu pionowego. Rolę tych podkładek przejęły specjalne płytki przykręcane do podstawy mechanizmu,
- dotychczasowe, stałe, ograniczniki zwisu pozostały w konstrukcji piasty co, w przypadku nie zadziałania mechanizmu, zapewnia taki sam jak obecnie poziom bezpieczeństwa,
- masa jednego ogranicznika wynosi około 0,5 kg. Komplet (4 sztuki) ma masę niecałe 2 kg. Stanowi to mniej niż 0,9% masy piasty (223 kg). Moment statyczny ogranicznika względem osi obrotu wirnika nośnego wynosi 0,16 kGm (0,07% momentu statycznego ramienia piasty i łopaty). Tak mała masa ograniczników nie wpływa na dotychczasowe ograniczenia eksploatacyjne piasty.

Należy zwrócić również uwagę na pozostałe zalety mechanizmu:

- koniec łopaty został uniesiony o około 40 cm,
- ograniczniki można bez problemu zamontować na śmigłowcu u użytkownika,
- regulacja ograniczników polega na sprawdzeniu dynamometrem wielkości siły niezbędnej do odejścia zębów od powierzchni łącznika. Przykłada się ją do końca dźwigni poz. 3 na rys. 1 i 2 prostopadle do jej powierzchni. Aby uzyskać niezbędną siłę należy dodawać lub ujmować podkładki ustalające naciąg wstępny sprężyny.

Do wad konstrukcji należy zaliczyć głównie to, że delikatne dźwignie ograniczników wystają poza dolną powierzchnię głowicy piasty. Wymusza to stosowanie specjalnych podstawek do przechowywania zdemontowanej ze śmigłowca piasty i do jej transportu. Zamontowany na piaście ogranicznik utrudnia również nieco wymianę oleju w przegubie pionowym.

Mechanizm ogranicznika przeszedł różnego rodzaju próby. Badano możliwość zmiany (rozszerzenia) ograniczeń eksploatacyjnych dopuszczając wiatry o większej niż dopuszczalne w Instrukcji Użytkownika w Locie prędkości. Próby polegały na uruchomieniach silników, doprowadzaniu wirnika do nominalnej prędkości obrotowej i wyłączeniach silników przy różnych wiatrach oraz przy różnych kątach

nachylenia lądowiska. Przy okazji badano obciążenia elementów piasty i łopatek wirnika nośnego. Symulowano też dwa rodzaje awarii jednego z ograniczników. Pierwszy rodzaj to sytuacja, w której pomimo wzrostu obrotów jeden mechanizm nie zadziałał i zęby ogranicznika pozostały pomiędzy oporami stałymi. Drugi rodzaj polegał na podwiązaniu mechanizmu w pozycji wychylonej tak, że w momencie spadku obrotów trzy ramiona opierały się na zębach, które prawidłowo weszły pomiędzy opory stałe, natomiast czwarte ramię opadło niżej aż do oparcia o opory stałe.

Z prób tych uzyskano następujące wnioski:

- w trakcie uruchomień i wyłączeń silników stwierdzono występowanie uderzeń ramion piasty o ograniczniki zwiśsu (od kilku do kilkunastu). Ilość uderzeń zależy od położenia drążka sterowego, siły i kierunku wiatru, kąta nachylenia lądowiska,
- do uruchomień i wyłączeń silnika zaleca się przestawienie drążka sterowego w położenie neutralne. Wtedy ilość i intensywność oraz energia uderzeń jest najmniejsza,
- uruchamianie i wyłączanie silników z zablokowanym ogranicznikiem w położeniu wychylonym nie skutkuje odczuwalnym zwiększeniem drgań śmigłowca. Identyfikacja tej awarii jest łatwa i polega na obserwacji torów końców łopat podczas uruchomień i wyłączeń silników,
- uszkodzenie ogranicznika polegające na zablokowaniu w położeniu postojowym również nie wywołuje nadmiernych drgań i obciążeń. W trakcie prób opracowano procedurę identyfikacji tej niesprawności. Polega ona na przemieszczaniu przy obrotach „mały gaz na ziemi” drążka sterowego z położenia neutralnego do przodu aż do doprowadzenia do uderzeń ramienia o zablokowany ogranicznik. Ta procedura jednak wymaga zabudowania wskaźnika położenia drążka sterowego,
- dotychczas przeprowadzone próby pozwalają na podniesienie dopuszczalnej prędkości wiatru bocznego w trakcie rozruchu wirnika z 10 do 15 m/s.

Obecnie prowadzona jest eksploatacja nadzorowana ograniczników. Polega ona na tym, że ograniczniki zamontowane są na śmigłowcu, który eksploatuje dział prób w locie. Śmigłowiec jest użytkowany w ramach prowadzonych prób przy ograniczeniach obowiązujących według Instrukcji Użytkowania w Locie. Przy okazji każdego lotu sprawdzane jest prawidłowe działanie ograniczników. Celem tej eksploatacji jest zebranie informacji o niezawodności pracy mechanizmu w różnych warunkach użytkowania a także ustalenie procedur obsługowych takich jak częstotliwość regulacji siły naciągu wstępnej sprężyny itp. Okresowo sprawdzany jest stan techniczny zębów ogranicznika.

Do tej pory w ramach eksploatacji nadzorowanej ograniczniki przepracowały bezawaryjnie 395 uruchomień silnika w czasie około 115 godzin lotu. Stan zębów nie budzi zastrzeżeń i nie było konieczności regulacji siły naciągu wstępnej sprężyny.

P. Dziadosz

THE MODIFICATION OF THE MAIN ROTOR FOR THE SOKOL HELICOPTER - MOBILE BLADE OVERHANG LIMITER

Summary

During operation of the Sokol helicopter, instances of the main rotor blade edge impacting with the tail boom occurred. It is highly probable that this was caused by a sudden gust of wind during start-up of the rotor in conditions, which are allowable in the in-flight operating Manual 180. In practice, the pilots carry out a rotor start-up only in head - or sidewind conditions. They avoid start-up even during an allowable tailwind. Because of this, in PZL Swidnik SA research was undertaken with the intention of equipping the helicopter with a „mobile” limiter of blade overhang. The requirements of the project were as follows: The device should be fitted on the main rotor hub with a minimal number of parts to be changed. The existing fixed limiters of overhang remain in the hub structure, and during rotor deceleration, mobile limiters do not come in between, which causes an increase in clearance between the tail boom and the blade. The structure of mobile limiters ensured an increase of clearance between the end of the main rotor blade and the tail boom by around 40 cm. The project requirements were fulfilled. The device is fitted on the hub in the location of the washer pod under the nut of the journal of the alpha hinge. The assembly can be performed by the operator. The mass of the added limiter is 0.5 kg (0.4% of the mass of the arm of the hub and blade, and its static moment with respect to the main rotor axis of rotation is 0.16 daNm (0.07% of the static moment of the arm of the hub and blade). Such a small mass of the limiters does not influence the existing operating limits of the hub. In the process of ground tests carried out with the aid of mobile limiters, cases of system failure were analyzed. In both the case when the pads of one limiter will not come out of between the fixed limiters during rotor start-up, as well as when these pads do not come in between the fixed limiters during deceleration of the rotor, no phenomena of concern occur. Furthermore during ground testing a procedure was designed to check if the pads on all 4-hub arms did not come in between the fixed limiters during start-up of the rotor. Mobile blade overhang limiters are currently being monitored in operation on the helicopter. During this operation, already 265 starts and stoppages of the rotor were carried out, and in every case all the limiters functioned correctly. During these tests, the limiters flew for 103 hours.

МОДИФИКАЦИЯ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА СОКОЛ – ПОДВИЖНОЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ ОБВИСАНИЯ ЛОПАСТИ

Резюме

Во время эксплуатации вертолёт Сокол случались случаи ударов лопасти несущего винта в хвостовую балку. Вызвано это было вероятнее всего внезапным порывом ветра во время раскрутки винта в условиях допускаемых Инструкцией по Эксплуатации в Полете но 180. На практике пилоты приступают к раскрутке винта только если ветер спереди или сбоку. Они избегают раскрутки при ветре сзади даже если его сила допустима. В связи с этим в ПЗЛ Свидник были начаты работы с целью снаряжения вертолёт в подвижной ограничитель обвисания лопастей. Были приняты следующие основания:

- устройство должно крепиться к втулке несущего винта с изменением минимального числа деталей,
- прежние, фиксированные ограничители обвисания лопасти остаются на месте, а во время торможения винта между них входят подвижные ограничители, которые увеличивают клиренс между хвостовой балкой и лопастью винта,
- минимальная масса конструкции.

Конструкция подвижных ограничителей позволила увеличить клиренс между концом лопасти НВ и хвостовой балкой на около 40 см. Проектные основания были выполнены. Устройство крепится к втулке вместо шайбы под гайку шипа вертикального шарнира. Масса этого ограничителя 0,5 кг (0,4 % от массы рукава втулки и лопасти, а его статический момент инерции относительно оси вращения несущего винта 0,16 кгсм (0,07 % от статического момента инерции рукава и лопасти). Так незначительная масса ограничителей не влияет на существовавшие до сих пор эксплуатационные ограничения для втулки НВ. Во время наземных испытаний с использованием подвижных ограничителей расследовались случаи аварии устройства. В случае если вкладыши одного ограничителя не войдут между фиксированными ограничителями во время торможения винта ничто беспокоящее не происходит. Кроме того во время наземных испытаний была разработана процедура проверки вышли ли вкладыши спомежду фиксированных ограничителей на всех четырёх рукавах втулки НВ во время раскрутки винта. Подвижные ограничители обвисания лопастей находятся теперь в надзираемой эксплуатации на вертолёт. В рамках этой эксплуатации проведено уже 265 раскруток и торможений винта и каждый раз ограничители срабатывали правильно. Во время этих испытаний ограничители вылетали 103 часа.