

П.О. Жикол, Р.Б. Белінська, Д.І. Чусь

*Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ “ВЕРТОЛІТ І ДВИГУНИ” ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ВЕРТОЛЬОТІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ**

*Фактор суттєвого зростання в останні роки кількості небезпечних несправностей парку військово-транспортних вертольотів типу Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8 та Мі-8МСБ-В державної авіації обумовлює необхідність удосконалення методів і форм їх технічного обслуговування та впровадження сучасних методів діагностування засобами неруйнівного контролю (НК) елементів конструкції системи “вертоліт і двигуни” (ВіД). Визначення переліку ефективних методів НК для поглибленого діагностування технічного стану системи ВіД потребує установаження переліку її визначальних дефектів і пошкоджень та переліку найбільш пошкоджуваних елементів конструкції системи.*

*У статті за результатами аналізу експлуатаційних даних щодо несправностей елементів конструкції системи ВіД указаних типів вертольотів, отриманих від усіх підрозділів державної авіації протягом 2016-2021 років, встановлено відсотковий розподіл найбільш поширених типів дефектів системи та відповідні переліки конструктивних елементів системи, на яких виникають такі дефекти.*

**Ключові слова:** вертоліт, система вертольота, технічне обслуговування, несправність, відмова, пошкодження, дефект, діагностування, неруйнівний контроль, пошкоджуваність.

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Основним завданням процесу технічного обслуговування (ТО) авіаційної техніки (АТ) є підтримання необхідного рівня надійності літальних апаратів. Аналіз авіаційних подій, які відбуваються на військово-транспортних вертольотах державної авіації в останні роки, свідчить про суттєве зростання на них кількості небезпечних несправностей (за останні 5 років більше, ніж у 2 рази), які обумовлені великими строками експлуатації вертольотів та дією сукупності зовнішніх факторів [1, с. 105].

Фактор суттєвого зростання кількості небезпечних несправностей старіючого парку вертольотів обумовлює необхідність підвищення ефективності їх технічного обслуговування – удосконалення методів і форм обслуговування, впровадження сучасних методів й засобів діагностування технічного стану для виявлення небезпечних дефектів і пошкоджень та прогнозування технічного стану.

У роботі [2, с. 20, 21] визначено рівень впливу несправностей різних систем вертольота на його безвідмовність. Зокрема, для військово-транспортних вертольотів типу Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8 та Мі-8МСБ-В установлено, що найбільшу кількість відмов і пошкоджень (від усієї кількості

зарєєстрованих несправностей) має авіаційне обладнання – близько 41 %, обладнання системи “вертоліт і двигуни” (ВіД) вносить близько 36 % несправностей. Решта (23 %) припадає на радіоелектронне обладнання та озброєння. Отже, обладнання системи ВіД суттєво впливає на рівень надійності указаних типів вертольотів. Крім того, до складу обладнання системи ВіД входять основні силові елементи конструкції вертольота, відмова і пошкодження яких приводить до небезпечних наслідків – виникнення аварійної, або навіть катастрофічної ситуації.

Актуальність теми статті обумовлена необхідністю пошуку шляхів підвищення ефективності технічного обслуговування системи ВіД парку зазначених типів військово-транспортних вертольотів державної авіації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проблема підвищення ефективності ТО указаних типів військово-транспортних вертольотів розглянута у ряді робіт [3, с. 73...78; 4, с. 101...111]. В них увага зосереджена на удосконаленні методів і форм ТО вертольотів, зокрема на обґрунтуванні доцільності переходу до системи технічного обслуговування вертольотів за технічним станом, що дозволяє скоротити витрати на технічне обслуговування і використати ресурсні показники вертольотів до повного їх вичерпання.

Перехід до системи ТО вертольотів за технічним станом потребує впровадження в процес технічного обслуговування сучасних методів та засобів технічного контролю і діагностування, зокрема використання методів й засобів неруйнівного контролю (НК). Надійність елементів конструкції системи Від вертольотів в процесі експлуатації в значній мірі забезпечується системою контролю їх фактичного технічного стану, яка базується на виявленні наявних дефектів і пошкоджень елементів конструкції та оцінюванні можливості подальшої їх експлуатації в рамках установлених ресурсу і строку служби. Досвід застосування методів і сучасних засобів НК для діагностування технічного стану конструкції літаків дозволив суттєво знизити кількість невиявлених дефектів і пошкоджень їх систем [5, с. 869, 870].

Аналіз матеріалів експлуатаційних технічних документів зазначених типів вертольотів щодо використання засобів НК при проведенні робіт з їх технічного обслуговування засвідчує, що в переліку робіт з ТО у відповідному Регламенті та Керівництві з технічної експлуатації вертольота типу Ми-8 для виявлення і оцінювання параметрів несправностей рекомендовано застосування тільки візуально-оптичного, акустичного та пошуку течі фреону засобів НК [6, с. 1...6; 7, с. 6...28]. Обсяг робіт з контролю технічного стану елементів конструкції системи Від з застосуванням засобів НК становить менше 2% від усього обсягу робіт. Для діагностування системи Від вертольотів типу Мі-8МСБ-В (прийнятий на озброєння у 2015 році) до зазначеного вище обладнання в його Регламент ТО введено застосування вихрострумового і капілярного методів НК, а обсяг робіт з контролю технічного стану елементів конструкції системи з застосуванням засобів НК збільшено до 3% від загального обсягу робіт з ТО [8, с. 3...91; 9, с. 5...386; 10, с. 5...402; 11, с. 4...324]. Для діагностування технічного стану системи Від вертольотів типу Ми-2МСБ (прийнятий на озброєння у 2017 році) перелік засобів НК ще розширено – в Регламент ТО введено застосування ультразвукового та відеоендоскопічного контролю, а обсяг робіт з контролю технічного стану елементів конструкції системи з застосуванням засобів НК збільшено до 5 % від загального обсягу робіт з ТО [12, с. 2...52; 13, с. 4...356; 14, с. 6...285; 15, с. 2...296]. Для виконання робіт з діагностування в зазначених документах у більшості випадків рекомендовано застаріле (1980-х років випуску) обладнання НК з обмеженими можливостями щодо оцінювання фактичного технічного стану елементів конструкції системи.

Проведений аналіз експлуатаційної технічної документації указаних типів вертольотів підтверджує необхідність розширення номенклатури методів НК, які використовуються, застосування сучасних засобів НК та суттєвого розширення переліку контрольованих засобами НК елементів конструкції системи Від.

Відомо, що спеціалізовані методи НК, засновані на різних фізичних принципах і мають певні особливості застосування при дослідженні авіаційних конструкцій. Кожний тип обладнання НК орієнтується на виявлення обмеженого кола дефектів деталей з урахуванням особливостей форм їх конструкції та різноманітності матеріалів [5, с. 623...632; 16, с. 3...8].

Відповідно, для поглибленого діагностування технічного стану елементів конструкції системи Від указаних типів вертольотів необхідно установити перелік визначальних дефектів і пошкоджень елементів конструкції системи, які надають можливість оцінювання її технічного стану та його прогнозування, а також перелік часто пошкоджуваних елементів конструкції системи і на цій основі визначити розширений перелік необхідних ефективних методів і засобів НК. Основним джерелом необхідної для вирішення цього завдання інформації є експлуатаційні матеріали, які надаються підрозділами державної авіації [17, с. 2...37; 19, с. 7...12].

**Мета статті** – на основі аналізу експлуатаційних даних про несправності функціональної системи Від військово-транспортних вертольотів типу Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8, Мі-8МСБ-В установити найбільш поширені види дефектів і пошкоджень її вузлів й деталей та часто пошкоджувані елементи конструкції системи і на цій основі визначити перелік сучасних ефективних методів й засобів неруйнівного контролю, які забезпечуватимуть розширення та поглиблення контролю технічного стану елементів конструкції системи Від указаних вертольотів.

#### **Виклад основного матеріалу**

Для вирішення поставленого в статті завдання проведено аналіз даних про характер несправностей елементів конструкції системи Від вертольотів типу Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8, Мі-8МСБ-В, наведених у картках обліку несправностей та донесеннях про результати періодичного аналізу надійності АТ, які поступали в ДНДІА від усіх підрозділів державної авіації протягом 2016...2021 рр.

В процесі аналізу указаних даних установлено, що несправності елементів конструкції системи Від обумовлені як дефектами, які мають кількісний

(формалізований) опис їх параметрів (довжина, ширина, глибина, площа, тощо), так і дефектами, які не містять такого формального опису параметрів, але впливають на технічний стан вертольота, обумовлюючи його значну або повну несправність [18, с. 30, 31].

У відповідності до вимог методичних рекомендацій щодо збору і аналізу інформації про несправності АТ [17, с. 96...102] та Державного стандарту щодо надійності техніки [18, с. 23, 24] в подальшому до дефектів, які мають кількісний опис параметрів, віднесено:

руйнування – включає руйнування, злом, руйнування кріплення (ущільнення), відклеювання, відставання, зріз і зрив різьби елементів конструкції;

зношення – включає знос, розвальцювання, прогар, розшарування, спучування, виривання із запакування, люфт, усадку елементів конструкції;

тріщини – включає тріщини, тріщини кріплення (хомути, гвинти, кронштейни), розтріскування гуми елементів конструкції;

корозія – включає корозійні ураження, окислення, порушення антикорозійного покриття елементів конструкції.

До дефектів, які не мають формального кількісного опису параметрів, включено:

“пошкодження” – незначна або значна несправність елементів конструкції системи ВіД, наявність якої суттєво впливає на можливість використання вертольота за призначенням та його довговічність, але не є повною чи критичною. Включає деформацію елементів конструкції системи, попадання стороннього предмета, негерметичність вузлів та їх ущільнень, зниження мастильних властивостей, зниження пружності та еластичності, нестабільність роботи – великий (малий) зазор, випресовування, відвертання різьбових з’єднань, ослаблення чи недостатня затяжка гвинтів;

“відмова” – повна або критична несправність елементів конструкції системи ВіД, наявність якої веде до неможливості і недопустимості використання вертольота за призначенням, а причина її виникнення однозначно не встановлена. Включає випадки відмов складальних одиниць, вузлів та деталей системи (крани, клапани, золотники, насоси, автомати тиску тощо), причину відмов яких не встановлено; відсутність чи неповне відкриття (закриття); заїдання, заклинювання; неправильний монтаж, роз’єднання елементів конструкції системи ВіД.

Для визначення схильності елементів конструкції системи ВіД до несправностей,

порівняння рівня надійності систем ВіД вертольотів різних типів в процесі аналізу експлуатаційних даних використано відомий показник – пошкоджуваність виробу при його експлуатації, який кількісно оцінюється числом пошкоджень виробу за визначений період часу експлуатації (як правило за один рік) [20, с. 484; 21, с. 72...82].

Результати розподілу експлуатаційних несправностей згідно з наведеним визначенням дефектів, а також характер зміни кількісних значень пошкоджуваності системи ВіД протягом 2016...2021 років для зазначених типів вертольотів представлено в таблиці 1. Представлений розподіл експлуатаційних несправностей елементів конструкції системи ВіД засвідчує наступні факти.

Із загальної кількості зареєстрованих протягом 2016...2021 рр. несправностей системи ВіД дефекти типу “відмова” складають 33,2 %, “пошкодження” – 25,4 %, тріщини – 18,3 %, руйнування – 11,4 %, зношення – 9,6 %, корозія – 2,1 %. Таким чином, найбільш поширеними видами дефектів системи ВіД є “відмова” і “пошкодження”, як для кожного типу вертольота, так і по їх парку в цілому. Сумарна кількість цих дефектів по парку вертольотів становить близько 58,6 %.

Дефекти виробів системи ВіД, які мають кількісний опис (руйнування, тріщини, зношення та корозія), сумарно складають 41,4 % від кількості зареєстрованих несправностей по парку вертольотів.

Порівняльний аналіз пошкоджуваності системи ВіД військово-транспортних вертольотів типу Ми-2 і Ми-8 та їх модернізованих аналогів вітчизняного виробництва – вертольотів типу Ми-2МСБ і Мі-8МСБ-В засвідчив, що рівень пошкоджуваності модернізованих вертольотів вищий (на 37 %...100 %) ніж у вертольотів Ми-2 і Ми-8, що свідчить про прискорення деградаційних процесів у конструкційних елементах агрегатів, блоків, вузлів цих вертольотів на початковому етапі їх технічної експлуатації.

Рівень пошкоджуваності усіх типів вертольотів протягом розглянутих років експлуатації має відносно рівномірний характер з незначним підйомом у 2019 році, обумовленим суттєвим зниженням якості ремонту вертольотів на авіаремонтних підприємствах.

Для кожного із указаних типів дефектів в процесі аналізу експлуатаційних даних сформовано перелік елементів конструкції системи ВіД, на яких такий дефект виникає частіше. Результат такої систематизації представлено у таблиці 2. Він засвідчує наступне.

Таблиця № 1

Результати кількісного аналізу несправностей системи ВіД вертольотів за 2016 – 2021 рр.

Тип ЛА	Вид дефекту/роки експлуатації	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Кількість дефектів за роки, їх відсоток та місце за кількістю
Ми-2	Руйнування:	1	1	0	0	0	0	$\Sigma=2$ ; 8,33 %; 4
	Зношення:	0	0	0	0	0	0	$\Sigma=0$ ; 0,00 %; 6
	Тріщини:	1	2	0	0	0	0	$\Sigma=3$ ; 12,50 %; 3
	Корозія:	1	1	0	0	0	0	$\Sigma=2$ ; 8,33 %; 4
	“Відмови”:	5	5	2	0	0	0	$\Sigma=12$ ; 50,00 %; 1
	“Пошкодження”:	2	2	1	0	0	0	$\Sigma=5$ ; 20,83 %; 2
	Несправностей системи ВіД	$\Sigma=10$	$\Sigma=11$	$\Sigma=3$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	За роки $\Sigma=24$
	Справних ЛА	6	4	7	0	0	0	За роки $\Sigma=17$
Пошкоджуваність (на один вертоліт)	1,66	2,75	0,43	0	0	0	Пошкоджуваність за 2016...2021 рр.=1,41	
Ми-2МСБ:	Руйнування:	0	0	1	4	5	1	$\Sigma=11$ ; 7,48 %; 4
	Зношення:	0	0	2	1	7	1	$\Sigma=11$ ; 7,48 %; 4
	Тріщини:	0	0	5	3	1	4	$\Sigma=13$ ; 8,84 %; 3
	Корозія:	0	0	0	2	0	1	$\Sigma=3$ ; 2,04 %; 6
	“Відмови”:	0	0	10	21	12	11	$\Sigma=54$ ; 36,73 %; 2
	“Пошкодження”:	0	1	10	19	15	10	$\Sigma=55$ ; 37,41 %; 1
	Несправностей системи ВіД	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=28$	$\Sigma=50$	$\Sigma=40$	$\Sigma=28$	За роки $\Sigma=147$
	Справних ЛА	0	4	14	20	19	19	За роки $\Sigma=76$
Пошкоджуваність (на один вертоліт)	0	0,25	2,00	2,50	2,10	1,47	Пошкоджуваність за 2016...2021 рр.=1,93	
типу Ми-8:	Руйнування:	7	12	10	9	7	1	$\Sigma=46$ ; 12,14 %; 4
	Зношення:	7	5	10	7	7	5	$\Sigma=41$ ; 10,82 %; 5
	Тріщини:	15	14	21	12	12	4	$\Sigma=78$ 20,58 %; 3
	Корозія:	4	1	1	1	3	0	$\Sigma=10$ ; 2,64 %; 6
	“Відмови”:	17	25	23	30	17	12	$\Sigma=124$ ; 32,72 %; 1
	“Пошкодження”:	9	12	15	27	10	7	$\Sigma=80$ ; 21,11 %; 2
	Несправностей системи ВіД	$\Sigma=59$	$\Sigma=69$	$\Sigma=80$	$\Sigma=86$	$\Sigma=56$	$\Sigma=29$	За роки $\Sigma=379$
	Справних ЛА	55	57	68	66	64	41	За роки $\Sigma=351$
Пошкоджуваність (на один вертоліт)	1,07	1,21	1,17	1,30	0,87	0,71	Пошкоджуваність за 2016...2021 рр.=1,08	
Мі-8МСБ-В:	Руйнування:	3	5	6	15	5	5	$\Sigma=39$ ; 12,50 %; 4
	Зношення:	3	2	3	3	16	4	$\Sigma=31$ ; 9,94 %; 5
	Тріщини:	1	1	5	12	29	16	$\Sigma=64$ ; 20,51 %; 3
	Корозія:	2	0	0	0	1	0	$\Sigma=3$ ; 0,96 %; 6
	“Відмови”:	10	16	8	19	21	22	$\Sigma=96$ ; 30,77 %; 1
	“Пошкодження”:	18	7	8	15	13	18	$\Sigma=79$ ; 25,32 %; 2
	Несправностей системи ВіД	$\Sigma=37$	$\Sigma=31$	$\Sigma=30$	$\Sigma=64$	$\Sigma=85$	$\Sigma=65$	За роки $\Sigma=312$
	Справних ЛА	12	15	21	24	34	31	За роки $\Sigma=137$
Пошкоджуваність (на один вертоліт)	2,75	2,06	1,43	2,66	2,50	2,09	Пошкоджуваність за 2016...2021 рр.=2,27	

Джерело: розроблено авторами за матеріалами карток обліку несправностей та донесень про результати періодичного аналізу надійності АТ державної авіації України за 2016...2021 роки.

## Перелік часто пошкоджуваних елементів конструкції системи ВіД

Вид пошкодження	Найменування пошкоджуваних елементів конструкції системи ВіД
Руйнування елементів конструкції системи ВіД	Руйнування елементів конструкції трансмісії, головного редуктора (ГР), втулки несучого гвинта (НГ) та рульового гвинта (РГ), хвостового редуктора (ХР), автомата перекосу 8-1950-000, муфти вільного ходу лопатей НГ; протипожежних перегородок та лопаток вихлопного патрубку екранно-вихлопної установки (ЕВУ); шестерень і підшипників двигунів, приводу компресора, паливних насосів і вентиляторної установки; різьблення гвинтів; вала ресори СВ-78БА; повітряного компресора АК-50Т1; лопаток авіадвигунів; силового набору і заклепок фюзеляжу; кронштейнів кріплення стабілізатора. Відклеювання протиабразивної накладки та обшивки лопатей НГ та РГ. Злом підкоса 8АТ7535.090.
Зношення елементів конструкції системи ВіД	Зношення ущільнення осьових шарнірів НГ; втулок РГ і НГ; шестерні ГР, проміжного та ХР; втулки осі кріплення опори переднього шасі; фланця і шліцьового вала ХР. Люфт підшипників втулки РГ, автомата перекосу, ротора вентилятора, стабілізатора вертольота; важеля направляючих агрегатів; шарнірного підшипника кронштейна 8АТ-0335.
Тріщини елементів конструкції системи ВіД	Тріщини маслобака, повітряно-масляного радіатора, насосів і шлангів маслосистеми; паливних баків (ПБ) та трубопроводів паливної системи; трубопровода високого тиску; сигналізатора лонжерона та обшивки лопаті НГ; обшивки хвостової балки, капотів фюзеляжу і редукторного відсіку, елементів силового набору фюзеляжу; газодинамічного тракту двигунів вертольота і ЕВУ; зварного шва патрубка СТГ-9; протипожежних перегородок, обтічників ЕВУ; патрубка 140.6801.170 системи повітряного запуску; повітряної камери гальма КТ-96А. Тріщини кронштейнів кріплення гідропідсилювача, дефлектора, забустерної частини системи керування; підвісу бака до фюзеляжу; кріплення бортової лебідки; хомути газовивідної труби.
Корозійні ураження в системі ВіД	Корозійні ураження елементів конструкції шасі, проміжного редуктора 4251.1000, ділянок ЦЧФ, силового набору фюзеляжу; шпангоута №1 хвостової балки; паливних баків; запальників двигунів АИ-450.
“Відмови” елементів конструкції системи ВіД	Відмови насосів ЕЦН-91С, НР-40ВА, НР-3ВМ, НР-3МС, НР-3ВМА-Т, ЕЦН-40, ДЦН-70А, ЕЦН-75Б; авіадвигунів АИ-450В, ТВ3-117ВМ, ТВ3-117ВМА, АИ-9В; лопатей і трансмісії; рульового агрегату РА-60Б; автомата розвантаження ГА-77В; редукційних прискорювачів УП-25/2, УП 03/2М; сильфона 3026.680; автомата тиску АД-59; електромагнітного клапана 610.200А; гідроблока ГБ-2. Відсутність відкриття термклапана масляної системи ГР; кранів ГА-142/1, ГА-192; паливних насосів ЕЦН-75Б, НР-96; клапанів МКТ-210А, ГА-59/1, УП-24/2, У139А; заслінки 1919; клапана гідродемпфера втулки НГ; дозатора редуктора двигуна; перепускних клапанів шарнірів лопатей НГ; клапана тиску стартера СВ-78БА. Заклинювання – підшипників хвостового вала трансмісії, карданного вала компресора втулки РГ; штоків термклапана ВМР і гідропідсилювача РП-35; золотника РО-40М; амортизаційного поршня шасі; ротора вентилятора ИВ-500Е; редукційного клапана агрегату АД-50Д; компресора АК-50Т1; гідропідсилювача КАУ-30Б; проміжного і хвостового редуктора; гідродемпфера та шарніра втулки і лопаті НГ.
“Пошкодження” елементів конструкції системи ВіД	Негерметичність: клапана компресора АК-50Т1; ущільнення шестерні приводу стартер-генератора і накладки герметизації НГ; масляних і паливних насосів та баків; гідропідсилювачів КАУ-30Б, РП-35; повітряного компресора НР-38МС; кранів, трубопроводів і шлангів гідросистеми, маслосистеми та пневмосистеми. Випадання підшипників капота авіадвигуна і колеса. Ослаблення гайки кріплення втулки НГ до вала ГР, кріплення штока КАУ-30Б; Розрегулювання управління кроком НГ. Пошкодження: хвостової балки; поплавкового клапана паливної системи; фюзеляжу (деформація та гофри); маслопроводів, маслорадіаторів та фільтроелементів маслосистеми двигуна; ущільнення горизонтального, вертикального та осьового шарніра втулки НГ; масляної порожнини хвостового редуктора; турбіни і прокладок компресора двигуна, гальм коліс; абразивне зношення корпусу двигуна АИ-9; зварних швів ЕВУ; кабіни екіпажу.

Джерело: розроблено авторами за матеріалами карток обліку несправностей та донесень про результати періодичного аналізу надійності АТ державної авіації України за 2016...2021 роки.

Найбільш поширені дефекти типу “відмова” у більшості випадків виникають у закритих складальних одиниць агрегатів, блоків та вузлів системи ВіД, проявляються функціональними ознаками – відмовою роботи елемента конструкції. Встановити причину їх виникнення в умовах експлуатації проблематично.

Дефекти типу “пошкодження” виникають на деталях системи ВіД внаслідок механічних пошкоджень, розрегулювання та зміни властивостей матеріалу, обумовленими великим терміном експлуатації вертольотів та недоліками в роботі при проведенні ТО. У більшості випадків мають зовнішній характер.

Найбільш доступним і ефективним методом виявлення зазначених типів дефектів при проведенні ТО є аналіз характеру несправностей та візуально-оптичний контроль

Дефекти типу руйнування, зношення, тріщини і корозія частіше виникають на силових елементах конструкції авіаційних двигунів і трансмісії; лопатях несучого і рульового гвинтів; екранно-вихлопної установки (ЕВУ); вузлах і деталях пневматичної, гідравлічної та паливної систем вертольота і авіадвигунів; елементах шасі; обшивці капотів, центральної частини фюзеляжу (ЦЧФ), хвостової балки і на їх силовому наборі. Вони становлять велику небезпеку для функціонування вертольота.

Вузли та деталі конструкції системи, на яких виникають такі дефекти, виготовлені з різних конструкційних матеріалів і мають специфічні конструктивні особливості – широкий набір габаритних розмірів, обмежений доступ до зон зародження дефекту чи його відсутність, складну форму контрольованих вузлів і деталей, що обумовлює складність їх діагностування при проведенні ТО. У більшості випадків виявлення таких дефектів потребує застосування сучасних засобів НК.

Метою технічного діагностування засобами неруйнівного контролю елементів конструкції системи ВіД вертольотів Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8, Мі-8МСБ-В в процесі технічного обслуговування є:

виявлення небезпечних дефектів і пошкоджень елементів конструкції системи;

виявлення ознак неприпустимих змін механічних властивостей і міцності матеріалу елементів конструкції з урахуванням його календарного строку і умов експлуатації та наробітку;

одержання прогнозної інформації про “слабкі” елементи конструкції системи ВіД та визначення можливості продовження їх експлуатації.

Низький рівень доступності для дефектоскопічного контролю більшості елементів конструкції системи ВіД, указаних в таблиці 2, складність їх форми та різноманітність конструкційних матеріалів і видів поширених дефектів обумовлюють доцільність застосування для виявлення дефектів в умовах проведення ТО сучасних засобів візуально-оптичного, капілярного, магнітного, вихрострумовеого, ультразвукового та акустичного неруйнівного контролю [5, с. 864...879; 22, с. 15...30; 23, с. 4...53].

В процесі контролю технічного стану авіадвигунів і трансмісії вертольота, додатково до указаних засобів НК, необхідне застосування віброакустичного контролю міжвальних, міжроторних та інших підшипників кочення та проведення аналізу працюючих мастил для виявлення зносу елементів конструкції [22, с. 22...25; 24, с. 52, 53].

Візуально-оптичний контроль з застосуванням відеоскопів забезпечує виявлення відносно невеликих за розмірами поверхневих дефектів (руйнування, корозійні ураження, тріщини, порушення заклепкових і гвинтових з'єднань тощо) та підозрілих щодо наявності внутрішнього дефекту місць за прямими і опосередкованими ознаками у важкодоступних чи значно віддалених від фахівця місцях незнімних силових елементів конструкції системи ВіД – трансмісії, хвостової балки, деталей і порожнин газоповітряного тракту авіадвигунів, тощо. Ефективним для вирішення указаних завдань є відеоендоскоп Series C Olympus.

Для виявлення малорозмірних поверхневих тріщин (розкрив – до 100 мікрон), надривів, волосовин, розшарування та інших дефектів суцільності матеріалів на доступних деталях з магнітних сталей складної форми системи ВіД (деталі шасі, муфти, осі, шестерні, тяги, циліндри, штоки, незнімні феромагнітні деталі і вузли вертольота) доцільне застосування засобів магніто-порошкового або капілярного контролю, зокрема магнітний дефектоскоп МДМ-2 та набір для магніто-порошкового чи капілярного контролю.

Для контролю поверхневого шару металевих конструкцій вертольота з немагнітних матеріалів простої і складної форми (виявлення тріщин під головкою заклепок, локальної корозії в нероздільних з'єднаннях “стрингер-обшивка” під шаром герметика, контролю отворів для з'єднання елементів силового набору ЦЧФ і хвостової балки, гальмівних барабанів коліс, лонжеронів повітряних гвинтів, лопаток компресора і турбіни газотурбінних двигунів), визначення значної зміни структури сплавів, товщини виробів та їх покриття у доступних і важкодоступних місцях ефективне

використання засобів вихрострумовею контролю і датчиків з обертовими вихрострумовими приймачами диференційного типу. Такі можливості має вихрострумовий дефектоскоп Eddycon C. Прилад дозволяє вести контроль деталей в конструкціях без видалення захисного покриття.

Метод ультразвукового контролю є єдино можливим для виявлення внутрішніх і поверхневих дефектів деталей, що знаходяться у важкодоступних місцях конструкції – тріщини утоми на валах під обоймою підшипника, тріщини на барабанах і ребордах авіаційних коліс, тріщини лонжерона лопатей, внутрішні дефекти у зварних швах, корозійні ураження матеріалу на невидимій стороні деталей – балони, стійки шасі, конструкції закритого типу тощо. Засоби ультразвукового контролю виявляють внутрішні і поверхневі дефекти в сталях і сплавах (магнітних і немагнітних), вимірюють товщину елементів конструкції, застосовуються виключно для контролю конструктивних вузлів, дефекти яких є небезпечними.

Для вирішення перелічених завдань може бути рекомендовано товщиномір Olimpus 45MG, який забезпечує можливість оцінки зворотної сторони елемента конструкції системи на наявність корозії або пошкодження та дефектоскоп Starman's Dio 1000 PA для контролю зварних швів (крім кутових швів) в системі ВіД.

Акустичний імпедансний метод дозволяє вести поглиблене дослідження стану багатопарових конструкцій лопатей вертольота без еталонного налаштування (без контрольних зразків), виявлення дефектів на різній глибині. Метод ефективний для виявлення вологи в стільникових конструкціях, дефектів клеєних багатопарових конструкцій, для визначення місць відшарування та не проклеювання між обшивкою і лонжероном в умовах експлуатаційних підрозділів. Ефективним для вирішення указаних завдань є дефектоскоп "Bond Master 600".

Віброакустичний метод діагностування міжвальних і міжроторних підшипників кочення авіадвигунів і трансмісії дозволяє оцінити вихід з ладу підшипників без визначення початкової стадії появи дефекту. Таким вітчизняним засобом віброакустичного контролю є багатоканальна система Вектор-А, яка проходить випробувань на АТ в експлуатаційних умовах [18, с. 22...25]. У світовій практиці уже застосовується метод широкосмугового вібродіагностування, який дозволяє не тільки відслідковувати зміну стану підшипників, але й локалізувати дефект [19, с. 52...53].

Застосування елементного аналізу працюючих мастил з виділенням металевих часток на базі

лічильника частинок SpectroLNF Q200, який проводить аналіз мастила шляхом вимірювання розмірів частинок, підрахунку їх кількості і визначення динамічної в'язкості. Дозволяє виявляти 24 елементи зносу та забруднень. Його використання для діагностування системи ВіД дозволить виявляти знос деталей конструкції трансмісії та авіадвигунів на початковій стадії процесу зношення [20, с. 3].

### **Висновки**

На основі визначених % розподілу дефектів системи ВіД вертольотів Ми-2, Ми-2МСБ, Ми-8, Мі-8МСБ-В та переліків конструктивних елементів системи, на яких виникають відповідні дефекти, запропоновано перелік сучасних ефективних методів і засобів НК, які забезпечуватимуть поглиблення контролю технічного стану елементів конструкції системи ВіД. Більшість запропонованих засобів НК уже включено до складу обладнання Лабораторії технічного діагностування АТ, виготовленої на Одеському авіаційному заводі під науково-технічним супроводженням ДНДІА.

Встановлено факт перевищення показників пошкоджуваності системи ВіД вертольотів типу Ми-2МСБ та Мі-8МСБ-В відносно показників системи вертольотів типу Ми-2 і Ми-8, що свідчить про прискорення деградаційних процесів у конструктивних елементах системи ВіД вертольотів Ми-2МСБ та Мі-8МСБ-В і обумовлює необхідність проведення додаткового контролю технічного стану системи ВіД, або більш глибокого її планового технічного обслуговування.

На сьогодні гостро стоїть завдання не тільки визначення фактичного технічного стану елементів конструкції системи ВіД, а й прогнозування зміни стану на певний період часу, визначення можливості збільшення для елементів конструкції системи встановлених ресурсних показників, що потребує інформації про неприпустимі зміни механічних властивостей матеріалів конструкції системи, про дефекти, які тільки зароджуються і розвиваються в досліджуваних конструкціях. Визначення таких даних із застосуванням технологічно складних засобів НК в процесі технічного обслуговування вертольота проблематично через значний обсяг робіт.

**Напрями подальших досліджень.** Отримані результати щодо % розподілу дефектів системи ВіД та визначеного переліку засобів для діагностування елементів конструкції вертольотів Ми-2МСБ та Мі-8МСБ-В можуть бути використані при розробленні наступної редакції Регламенту технічного обслуговування та Керівництва з технічної експлуатації указаних вертольотів.

### Список літератури

1. Сафонов І.Є., Коротін С.М. Тенденції розвитку вертольотобудування у світі та його перспективи в Україні / Повітряна міць України. Науково-практичний журнал. – К.: НУОУ, 2021. – Вип. № 1. – С. 102-107.
2. Голуб В.М., Башинський В.Г., Жданюк М.М. Визначення тренду змін показників надійності вертольотів Державної авіації України. – Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2020. – Вип. № 2. – С. 17-27.
3. Кузьміч О.Є., Аркушенко П.Л., Андрушко М.В., Гайдак І.Г., Пашенко С.В. Розгляд алгоритму експлуатації авіаційної техніки Державної авіації України “за станом” з використанням наземних засобів технічного контролю та систем бортових вимірювань. – Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2021. – Вип. № 3. – С. 73-78.
4. Опенько П.В., Поліщук В.В., Миронюк М.Ю., Козир А.Г. Досвід застосування адаптивних стратегій технічного обслуговування ремонту озброєння та військової техніки в державах-членах НАТО. – Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2021. – Вип. № 2. – С. 101–111.
5. Осташ О.П., Федірко В.М., Учанін В.М. Механіка руйнування і міцність матеріалів. Том 9. Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій. – Львів: СПОЛОМ, 2007. – 1068 с.
6. Вертолёт Ми-17. Регламент технического обслуживания. Планер, вертолётные системы, силовая установка. Часть 7. Регламентные работы. – М.: Авиаэкспорт. 2001. С.1 – 6.
7. Вертолёт Ми-8. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Книга 5. Технология выполнения регламентных работ. – М: Внешторгиздат. Изд.№ 16606Э. – С. 6 – 28.
8. Вертолёт Мі-8МСБ-В. Регламент технического обслуживания. Часть 1. Планер, вертолётные системы и силовая установка. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2015. – 91 с.
9. Вертолёт Мі-8МСБ-В. Руководство по технической эксплуатации. Часть 2. Планер. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 336 с.
10. Вертолёт Мі-8МСБ-В. Руководство по технической эксплуатации. Часть 3. Вертолётные системы. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 402 с.
11. Вертолёт Мі-8МСБ-В. Руководство по технической эксплуатации. Часть 4. Силовая установка. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 324 с.
12. Вертолёт Ми-2МСБ. Регламент технического обслуживания. Часть 1. Планер, вертолётные системы и силовая установка. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 52 с.
13. Вертолёт Ми-2МСБ. Руководство по технической эксплуатации. Часть 2. Планер. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 356 с.
14. Вертолёт Ми-2МСБ. Руководство по технической эксплуатации. Часть 3. Вертолётные системы. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 285 с.
15. Вертолёт Ми-2МСБ. Руководство по технической эксплуатации. Часть 4. Силовая установка. – Запоріжжя: “Мотор Січ”, 2017 – 296 с.
16. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. ДСТУ 2865-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
17. Методичні рекомендації державної авіації щодо збору, аналізу і подання інформації про несправності авіаційної техніки (МРДА-02/16). – К.: – 2016. – 102 с.
18. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 62 с.
19. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
20. Словник української мови (Академічний тлумачний словник) в 11 томах. – К.: 1976. – т. 7. – 484 с.
21. Бреславський Д.В., Пашенко С.О., Татарінова О.А. Напружено-деформований стан та пошкоджуваність полімерних елементів приладів штучних супутників землі. / Проблеми міцності. – К.: 2019. – № 2. – С. 72–82.
22. Інноваційні технології та обладнання. Каталог розробок фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка, 2016. – 38 с.
23. Неразрушающий контроль. Каталог разработок Ассоциации ОКО. – К.: 2016. – 53 с.
24. Тараненко Ю.К. Виброчастотные методы неразрушающего контроля физико-химических параметров жидких и газообразных сред. Неруйнівний контроль-2008. Збірник доповідей 10-ої конференції. – К: 2008. – С. 94–100.

*Надійшла до редколегії 07.12.2022*

*Схвалена до друку 22.12.2022*



**Відомості про авторів:**

**Жикол Павел Александрович**

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9891-5097>

**Бєлінська Регіна Борисівна**

науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1972-4685>

**Чусь Дмитро Іванович**

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7956-601X>

**Information about the authors:**

**Pavel Zhikol**

Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9891-5097>

**Rehina Bielinska**

Researcher Associate  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1972-4685>

**Dmitro Chuse**

Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7956-601X>

**DETERMINATION OF MEANS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE "HELICOPTER AND ENGINES" SYSTEM OF MILITARY TRANSPORT HELICOPTERS OF STATE AVIATION**

*P. Zhikol, R. Belinska, D. Chuse*

*The factor of a significant increase in the number of dangerous malfunctions in the fleet of military transport helicopters of the Mu-2, Mu-2MCB, Mu-8 and Mi-8MCB-B state aviation in recent years determines the need to improve the methods and forms of their maintenance and the introduction of modern methods of diagnosis by means of non-destructive testing control (NC) of structural elements of the "helicopter and engines" system (ViD). Determining the list of effective NC methods for in-depth diagnosis of the technical condition of the ViD system requires establishing a list of its defining defects and damages and a list of the most damaged structural elements of the system. According to the results of the analysis of operational data on malfunctions of the structural elements of the ViD system of the specified types of helicopters, received from all units of the state aviation during 2016-2021, the frequency distribution of the most common types of system defects and the corresponding lists of the structural elements of the system on which such defects occur have been established.*

*The most common types of malfunctions of system design elements are defects of the "failure" and "damage" type (in total – 58 % of the total number of registered defects), which occur more often in closed component units of the system, in its nodes and details. Defects such as destruction, cracks, wear and corrosion make up about 42 % in total. They occur on the power elements of aircraft engines and transmissions, the blades of the carrier and steering propellers, the screen-exhaust device, the elements of the chassis, the covering of the hoods, the central part of the fuselage and the tail beam, and their power set. It was also established that the level of damage to the air defense system of the Mu-2MCB and Mi-8MCB-B helicopters was higher than that of the Mi-2 and Mi-8 helicopters, which indicates the acceleration of degradation processes in the structural elements of the first helicopters at the initial stage of their technical operation and causes the need for a deeper control of the technical condition. In order to identify the list of defining defects of the "helicopter and engines" system in the process of maintenance of helicopters, a reasonable list of means of their non-destructive control is proposed.*

*Keywords: helicopter, helicopter system, maintenance, failure, damage, defect, diagnosis, non-destructive testing.*