

значения показателей надежности согласуются с нормами, действующими на этапе конструкторско-технологической доводки приборного бортового оборудования ЛА, в соответствии с НЛГС. Метод с использованием теории выбросов, примененный к новой конструкции, имеет следующие достоинства: простота оценки показателей безотказности; простота реализации на ЭВМ; возможность исследования и определения ВБР как функции времени $P(t)$ [4].

Список литературы: 1. *Повгородний В.О.* Прогнозирование показателей надежности механических конструкций бортовой аппаратуры Автореф. дис. канд. техн. наук: Харьков, 2004. – 20 с. 2. *Жовдак В.А.* Прогнозирование ресурса, прочности и надежности элементов машиностроительных конструкций. – Киев, 1989. – 95 с. 3. *Стенин П.А.* Сопротивление материалов. – М.: Интеграл-пресс, 1997. – 320 с. 4. *Тихонов В.И.* Выбросы случайных процессов. – М.: Наука, 1970. – 437 с.

Поступила в редакцию 25.04.2006

УДК 621.891.031

О.Г.ПРИЙМАКОВ, канд. техн. наук; **Ю.О.ГРАДИСЬКИЙ**; ХУПС

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ТА ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ ГРУП ДИЗЕЛІВ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ

У статті приведені результати тривалих стендових випробувань дизельних двигунів авіаційної наземної техніки з метою визначення експлуатаційних властивостей, що забезпечують працездатність та надійність деталей і складових одиниць в межах гарантійного наробітку.

In this article there are results long-term tests of diesel engines of the aviation ground technique. It has the purpose of determination of supply of operating properties that provide efficiency and reliability of details and assembling units within the limits of guarantee work.

Для авіаційної наземної техніки (АНТ) в Збройних Силах України найчастіше використовуються такі моделі дизельних двигунів, як В-46, КАМАЗ-740, ЯМЗ-238, СМД-14, Д-12 та деякі інші.

Відомо [1-4], що в процесі експлуатації таких двигунів на першому етапі використання ресурсу найбільш піддаються зношуванню пари «шип колінчастого валу - вкладиш опори ковзання», а на другому етапі деталі циліндро-поршневої групи. Отже, тільки повне комплексне експериментальне дослідження працездатності обох груп може об'єктивно показати дійсну працездатність дизелів АНТ, що прогнозується апостеріорно.

Таким апостеріорним прогнозом слугує логістична схема прогнозування, побудована на базі рекурсивного адаптивного фільтру калманівської оцінки зі зворотнім зв'язком, в якому інтегральні енергетичний R та кінематичний N показники додаються як стохастичні параметри, причому враховуються зов-

нішні (інтенсивність зношування I_h визначальних пар тертя) та внутрішні чинники впливу на працездатність дизелів АНТ [5].

Метою випробувань дизелів АНТ на прикладі типового їх представника - V-подібного двигуна В-46-6 є комплексне експериментальне дослідження працездатності двигунів впродовж всього ресурсу роботи і експериментальне підтвердження правильності апостеріорного прогнозування [6-8].

Експериментальне визначення працездатності дизелів АНТ виконувалося в рамках договору про науково-технічне співробітництво між ХУПС ім. І.Кожедуба та Харківським спеціалізованим конструкторським бюро дизельних двигунів (ХКБД) при ДП «Завод ім. Малишева» (м. Харків).

Для визначення працездатності двигуна В-46-6 №У03 АТ-5645, що пройшов обкаточні, регулювальні та приймально-здатні випробування після капітального ремонту на моторному мастилі Галол М-4042 ТД по ТУ У00151650.40-97 передбачалось проведення тривалих стендових випробувань терміном, що дорівнює гарантійному наробітку двигуна – 350 годин. Методика та порядок проведення випробувань регламентовані ТУ ОС-32 Р-2 «Періодичні випробування». Самі випробування проводились на випробувальному стенді КП ХКБД (РД 99 С7.641) [9].

Мастило Галол М-4042 ТД являє собою суміш мінерального базового мастила з композицією багатофункціональних присадок. Базове мастило складається з суміші дистильного та залишкового компонентів у співвідношенні, яке забезпечує заданий рівень в'язкості моторних мастил для форсування дизельних двигунів. Композиція присадок надає мастилу високі антинагарні, миючі, диспергуючі, антикислотні, протизносні властивості та включає в себе наступні багатофункціональні бар'їмістячі присадки: АСВ КАСП-13, Борин та Галад-30, а також депресорну присадку Явизоль 1015Н, антипінну присадку ПМС-200А.

Фізико-механічні показники мастила Галол М-4042 ТД в порівнянні з мастилом М-16П ГОСТ 6360-83, допущеного до застосування на двигунах типу В-46-6 в якості дублюючої марки приведено в табл. 1.

Наведені дані засвідчують, що всі показники мастила Галол М-4042 ТД практично ідентичні мастилу М-16 ІХП-3. Слід відмітити, що ці масла перевершують мастило МТ-16П за експлуатаційними властивостями: вони мають великі значення індексу в'язкості, кращі миючі властивості по ПЗВ, менші значення ступеня чистоти. В'язкісно-температурні характеристики мастила Галол М4042 ТД та М-16 ІХП-3 близькі між собою. Проведені випробування показали, що мастило Галол М-4042 ТД сумісне з моторними мастилами М-16 ІХП-3, МТ-16 та М-8В₂С, що дозволяє переходити від однієї марки на іншу без спеціальної промивки масляної системи.

Відповідно до програми стендові випробування двигуна зі встановленими вихлопними колекторами проводяться на модернізованому стенді, 10-ти годинними «холодними» і «гарячими» етапами на режимах зовнішньої характеристики $n = 2000, 1800$ і 1400 хв⁻¹. На кожному етапі після пуску повітря

двигун прогрівається протягом 30 хвилин до температури води і мастила на виході не менш 55°C на режимах приведених в табл. 2.

Таблиця 1 – Фізико-механічні показники моторних масел

Найменування показників	Моторні масла		
	Галол М-4042 ТД	М-16 ІХП-3	МТ-16П
1	2	3	4
Кінематична в'язкість при 100°C, мм ² /с	15,5-16,5	15,5-16,5	15,5-16,5
Індекс в'язкості, не менше	95	90	80
Зональна сульфатна %, не більше	1,25	1,25	0,6-1,0
Масова доля механічних домішок %, не більше	0,013	0,013	0,015
Масова доля води %, не більше	сліди	сліди	сліди
Лужне число мг КОН/г, не менше	4,5	4,0	4,0
Температура спалаху у відкритому тиглі °С	225	225	210
Температура застигання °С, не вище	25	-25	-25
Корозійність на пластинах зі свинцю г/м ³	відс	9,0	5,0
Термоокислювальна стабільність (250°C), хв	100	100	-
Миючі властивості ПЗВ бали, не більше	0,5	0,5	1,0
Ступінь чистоти мг на 100 г масла, не більше	300	320	600
Колір масла на калориметрі ЦНТ з разб. 15:85 од. ЦНТ, не більше	5,0	6,0	7,0
Миючий потенціал, не менше	80	80	-
Масова доля активних елементів %, не менше	0,6	0,6	-

Таблиця 2 – Фактичні параметри отримані при випробуванні двигуна

Етап	n_{-1} хв ⁻¹	N_e , к.с.	G_T , кг/год	g_b , г/елсч	G_b , кг/с	t_R , °С лів/прав	$P_{г.л.м.}$, кг/см ²	$P_{карт.}$, мм.вод ст.	g_m , г/елсч
35	2000	719*	144	200,2*	1,130	604/610	9,2	+60	-
35	1800	706	129,6	183,6	0,964	610/608	9,4	+50	4,2
35	1400	600	105	175	0,688	613/615	10,6	+20	-

* – вказані величини параметрів після приведення до стандартних умов дорівнювали $Me_0 = 764$ к.с., $g_{e0} = 189$ г/елсч

У процесі випробувань контроль за роботою двигуна здійснюється по зміні параметрів двигуна, фізико-хімічних показників і вмісту продуктів зносу

в поетапних пробах мастила. Перелік вимірюваних і контрольованих параметрів, величини цих параметрів, періодичність їх вимірів і запису в протоколі іспитів дані в табл. 3 - 5 програми випробувань.

Знос двигуна в процесі випробувань оцінюється по зміні концентрації заліза, хрому, міді, свинцю й алюмінію в поетапних пробах мастила, а також вмістом цих елементів у відкладеннях з ротора МЦФ, що перевіряються через кожні 50 годин роботи двигуна. За критерій оцінки зносу прийнято питоме надходження продуктів зносу в мастило (мг/елсч), що чисельно дорівнює сумарному накопиченню продуктів зносу в мастилі підрахованому з урахуванням чаду і доливу свіжого мастила для кожного елемента за час випробувань, віднесеному до ефективної потужності двигуна. Оцінка зносу проводиться шляхом зіставлення отриманих даних з аналогічними результатами випробувань мастила Галол М-4042ТД на двигунах 5ТДФ і 6ТД.

На першому й останньому етапах проводяться контрольні випробування, під час яких знімаються зовнішня і навантажувальна характеристики, перевіряється робота двигуна на мінімально стійких і максимальних частотах обертання колінчастого валу програми випробувань. Оцінка результатів іспитів проводиться по зміні фактичних і приведених параметрів двигуна. На номінальному режимі ефективна потужність двигуна і питома ефективна витрата палива приводяться до нормальних атмосферних умов згідно ТУ ОС-11-6 ПМР з урахуванням поправок на температуру й атмосферний тиск повітря, відносну вологість повітря, щільність і температуру палива, відмінних від нормальних умов. Крім того, вносяться поправки на опір повітря перед нагнітачем і на протитиск у вихлопних колекторах, що розраховуються по ОСТ У 3-1509-81.

Після закінчення іспитів двигун В-46-6 розбирається і проводиться оцінка його технічного стану. У відповідності з вимогами технічних умов на капітальний ремонт дизелів АНТ виконуються мікрометричні обмірювання робочих поверхонь найбільш навантажених деталей циліндро-поршневої групи відповідно до карт обмірювань, а також, оцінка зносу цих деталей і їхнього стану по золо-, лако- і чадовідкладенням.

Двигун вважається таким, що витримав випробування, за умови, якщо:

У процесі випробувань параметри двигуна - потужність, момент обертання, витрата палива, мастила, температура води і мастила та тиск мастила знаходяться в припустимих межах вимог технічних умов.

За час випробувань двигун не мав дефектів, що вимагали заміни окремих агрегатів чи деталей, пов'язаних із застосуванням мастила Галол М-4042 ТД.

За час випробувань зниження потужності на номінальному режимі не перевищує 5 %.

Основні деталі циліндро-поршневої групи по величині зносу робочих поверхонь, золо-, лако- і чадовідкладенням знаходяться в задовільному стані і придатні до подальшої роботи.

Зміна фізико-хімічних властивостей мастила знаходиться в межах, що забезпечують його роботу протягом гарантійного терміну без заміни.

При контрольних випробуваннях на стенді КП ХКБД параметри двигуна

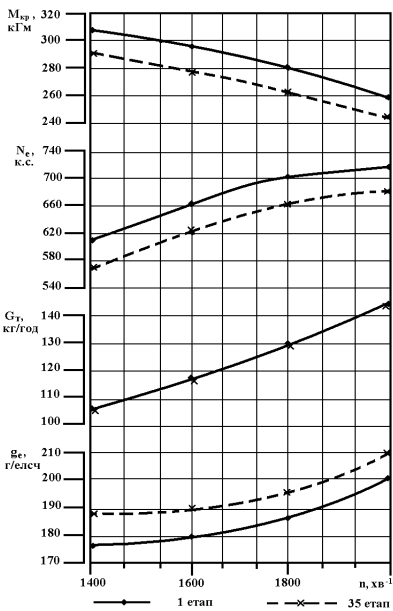
відповідали паспортним даним, одержаним при здавальних випробуваннях. Результати цих випробувань представлені в табл. 2, де надані фактичні значення параметрів.

Тривалі стендові випробування мастила Галол М-4042 ТД у двигуні В-46-6 проводилися в період з 12.11.2002 р. по 14.03.2003 р. у повній відповідності з програмою випробувань № 171/14. У ході тривалих випробувань зауважень по роботі двигуна, пов'язаних із застосуванням мастила не було. На початку випробувань спостерігалось розрідження мастила паливом. Після випробувань двигун знаходився в працездатному стані.

У ході випробувань параметри двигуна змінювалися незначно. Отримані відхилення потужності на етапах роботи двигуна стосовно першого етапу обумовлені, в основному, погіршенням паливної економічності і зміною температури і тиску навколишнього середовища.

За результатами контрольних випробувань двигуна на 1 і 35 етапах зміна за час випробувань приведених значень потужності і питомої витрати палива на номінальному режимі склала $\Delta Ne_0 = -3,9 \%$ і $\Delta g_{eo} = +3,7 \%$, що знаходиться в межах вимог технічних умов ТУ ОС-34Р-2.

Інші контрольовані параметри двигуна - витрата мастила на чад, тиск мастила в головній магістралі й у розподільних валах, тиск газів у картері, тиск надування, температура вихлопних газів – за час випробувань змінювалися незначно, і до кінця випробувань знаходилися в припустимих межах вимог технічних умов. У табл. 3-5 представлені фактичні параметри двигуна на режимах зовнішньої характеристики при роботі на 1, 10, 20, 30 і 35 етапах. На рисунку для порівняння показані зовнішні характеристики двигуна на 1 і 35 етапах його роботи. Система охолодження стенда була заправлена охолоджувальною рідиною з антикорозійними присадками, виготовленої відповідно до вимог 4591 ПМ-1. Випробування проводилися без заміни мастила. Після кожного етапу проводився відбір проб мастила для аналізу з доливанням свіжого мастила до постійного рівня маслобаку. Результати контрольних аналізів свідчать про те, що в процесі іспитів вода в мастило не потрапляла, кінематична в'язкість мастила при 100 °С змінювалася в межах 12,7...13,5 мм²/с. Зниження в'язкості і температури спалаху мастила на перших етапах роботи двигуна свідчить про попадання в мастило дизельного палива. Після усунення течії палива розрідження мастила практично не спостерігалось, показники мастила стабілізувалися і протягом подальших випробувань в'язкість і температура спалаху мастила склали 13,13...12,28 мм²/с і 166...150 °С відповідно. Показники, що характеризують окислювання мастила Галол М-4042 ТД, у процесі іспитів змінювалися так: лужне число 4,5...3,49 мгкон/м, кислотне число 0...0,49 мгкон/м. Ці значення знаходяться в межах, визначених для мастила М-16 ІХП-3 при аналогічних випробуваннях двигунів 5ТДФ і 6ТД. Забруднення мастила, оцінюване показниками «вміст нерозчинних добавок у бензині» і «диспергуюча здатність», також знаходилося на рівні, що спостерігається для мастила М-16 ІХП-3. Максимальні значення цих показників до кінця випробувань склали 1,2% і 4 бали відповідно.



Зовнішні характеристики двигуна В-46-6 №У03 АТ-5645 на початку і на кінці випробувань ($t_0 = 6...8^\circ\text{C}$; $t_r = 10...12^\circ\text{C}$; $\gamma_r = 0,82\text{г/см}^3$).

Сумарне накопичення продуктів зносу, віднесене до ефективної потужності двигуна, що проходив випробування на мастилі Галол М-4042ТД протягом 350 годин, не перевищує значень, після аналогічних випробувань двигунів 5ТДФ і 6ТД на цьому ж мастилі і складає для продуктів зносу, що містять залізо, хром і алюміній 76×10^{-3} , $7,1 \times 10^{-3}$, 30×10^{-3} мг/елсч відповідно. При стендових іспитах серійного двигуна ЯМЗ-236 питомий ваговий знос значно перевершує приведені значення для двигуна В-46-6 і складає 410×10^{-3} і 100×10^{-3} мг/елсч для заліза й алюмінію.

При розбиранні двигуна, огляді стану деталей, вузлів і агрегатів встановлено наступне:

1. Поршні в зборі знаходяться в задовільному технічному стані. Поверхні «спідниці», кільцевих перемичок поршнів лівих і правих груп чисті, без лако-, чадовідкладень. Поверхня денця всіх поршнів з боку камери згоряння зольних відкладень практично не містить. На денці і голівці окремих поршнів спостерігаються вуглекислі відкладення плямистої форми паливного походження. На робочих поверхнях усіх поршнів натирів, рисок чи задирирів не має і відсутні лакові відкладення. Канавки кілець чисті. Знос поршневих кілець за 350 годин роботи на мастилі Галол М-4042 ТД незначний. Зазори в замку після іспитів знаходяться в межах 1,0...1,15 мм для поршнів лівої групи і 0,95...1,25мм – для поршнів правої групи, що знаходиться в межах вимог тех-

Результати спектрального аналізу проб мастила і відкладень з ротора МЦФ на вміст продуктів зносу представлені в табл.6. Видно, що в поетапних пробах мастила продукти зносу, що містять елементи залізо, хром, мідь, алюміній і свинець, знаходилися в невеликих кількостях – на рівні концентрацій, що спостерігаються при нормальній роботі 5ТДФ і 6ТД.

За результатами аналізу відкладень видно, що в ході випробувань спостерігалось збільшення маси відкладень у роторі за рахунок росту їх органічної частини, однак процентний вміст продуктів зносу знаходився приблизно на одному рівні, що свідчить про рівномірний характер зносу. Це підтверджується даними сумарного накопичення продуктів зносу в мастилі, підрахованими з урахуванням чаду, доливання свіжого мастила, накопичення продуктів зносу у відкладеннях з ротора МЦФ. Криві накопичення по всіх елементах мають лінійний характер, тобто швидкість зносу постійна.

нічної документації для складання двигуна після ремонту. Площа прилягання поршневих кілець до дзеркала циліндра складає більш 85 %. Поршні в зборі придатні для подальшої роботи.

2. Гільзи циліндрів (у запресованому стані) знаходяться в задовільному стані, на дзеркальній робочій поверхні натирів, рисок чи інших дефектів не виявлено. У першому і другому поясах у двох взаємно перпендикулярних площинах овальність дзеркала незначна і знаходиться в межах 0,01...0,06 мм для гільз лівої і правої груп, що знаходиться в припустимих межах вимог технічної документації при складанні двигуна після ремонту. Гільзи всіх циліндрів придатні для подальшої роботи.

3. Поршневі пальці і втулки верхньої голівки шатунів знаходяться в задовільному стані. На робочих поверхнях видно сліди нормального приробітку, знос робочих поверхонь незначний, на поверхнях втулок ВГШ збереглося припрацьовочне свинцьоване покриття.

Таблиця 3 – Параметри двигуна В-46-6 № У03 АТ-5645 при $n = 2000$ об/хв

№	Найменування параметрів	Позна-чення	Розмі-рність	Етапи роботи				
				1	10	20	30	35
1	Крутячий момент	$M_{кр}$	кг м	257,5	251	245	243	246
2	Потужність	N_e	к.с.	719	700	684	676	687
3	Годинна витрата палива	G_T	кг/год	144	143	142	142	144
4	Питома витрата палива	g_e	г/елсч	200,3	204,3	207,6	210,0	209,6
5	Тиск повітря після нагнітача	P_K	кгс/см ²	1,803	1,84	1,785	1,82	1,79
6	Витрата повітря через двигун	G_B	кг/с	1,13	1,123	1,094	1,099	1,09
7	Сум. коеф. надлишку повітря	$\phi\alpha$	-	1,95	1,95	1,91	1,92	1,88
8	Температура відправ. газів	$t_{р\text{лів}}$	°C	604	604	635	624	633
		$t_{р\text{прав}}$	°C	610	604	632	632	634
9	Температура повітря на вході	$t_{вс}$	°C	6	4	3	2	4
10	Атмосферний тиск	B_o	мм.рт.ст	738	754	740	741	749
11	Відносна вологість повітря	ϕ	%	70	75	72	80	75
12	Щільність палива	ρ_T	кг/см ³	0,833	0,820	0,818	0,820	0,817
13	Тиск газів в картері	$P_{карт.}$	мм.в.ст	+60	+50	+50	+60	+50
14	Розрідж. пов. перед нагнітач.	$H_{вс}$	мм.в.ст	-485	-480	-450	-465	-460
15	Температура води та мастила на виході з двигуна	$t_{вих}$	°C	104	80	90	88	84
		$t_{мвих}$	°C	110	985	101	80	90
16	Темп. пал. на вході в дв.	$t_{т\text{вх.}}$	°C	11	12	12	8	8
17	Тиск мастила в головній маг	$P_{г\text{л.м}}$	кг/см ²	9,2	9,4	9,7	9,8	9,4
18	Тиск мастила в розподільчих валах	$P_{г\text{л.м.лів}}$	кг/см ²	1,05	0,8	1,0	1,0	0,95
		$P_{г\text{л.мпр}}$	кг/см ²	1,1	0,9	1,0	1,1	1,0
19	Прокачка води через двигун	$G_{води}$	т/ч	26	23	24,5	25	25

Таблиця 4 – Параметри двигуна В-46-6 № У03 АТ-5645 при $n = 1800$ об/хв

№	Найменування параметрів	По- зна- чен- ня	Розмір ність	Етапи роботи				
				1	10	20	30	35
1	Крутячий момент	$M_{кр}$	кгм	281	270	263	259	264
2	Потужність	N_e	к.с.	706	678,5	660	650	663,5
3	Годинна витрата палива	G_T	кг/год	129,6	130,4	130	130	131
4	Питома витрата палива	g_c	г/елсч	183,6	191,5	197	200	197,4
5	Тиск повітря після нагнітача	P_k	кгс/см ²	1,62	1,67	1,66	1,62	1,64
6	Витрата повітря через двигун	G_v	кг/с	0,964	0,988	0,971	0,941	0,955
7	Сум. коеф. надлишку повітря	$\phi\alpha$	-	1,85	1,88	1,85	1,80	1,81
8	Температура відправ. газів	$t_{г\text{лів}}$	°С	610	602	620	627	636
		$t_{г\text{прав}}$	°С	605	606	627	632	634
9	Температура повітря на вході	$t^{вс}$	°С	12	13	12	10	9
10	Атмосферний тиск	B^o	мм.рт.ст	738	754	740	741	749
11	Відносна вологість повітря	ϕ	%	70	75	72	80	75
12	Щільність палива	ρ_T	кг/см ³	0,833	0,820	0,818	0,820	0,817
13	Тиск газів в картері	$P_{карт}$	мм.в.ст	+60	+50	+60	+50	+50
14	Розрідж.пов.перед нагнітачем	$H_{вс}$	мм.в.ст	-355	-360	-345	-325	-340
15	Температура води та масти- тила на виході з двигуна	$t_{В\text{вих}}$	°С	98	88	94	92	94
		$t_{М\text{вих}}$	°С	103	91	94	85	90
16	Темп. пал. на вході в дв.	$t_{Т\text{вх}}$	°С	12	13	12	10	9
17	Тиск мастила в гол. магістралі	$P_{г\text{лм}}$	кг/см ²	9,4	10,2	9,5	10,2	9,9
18	Тиск мастила в розподіль- чих валах	$P_{г\text{лів}}$	кг/см ²	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		$P_{г\text{л.пр}}$	кг/см ²	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
19	Прокачка води через двигун	$G_{\text{води}}$	т/ч	4,2	4,7	4,5	4,6	4,5

4. Підшипники розподільних валів знаходяться в задовільному стані. Робочі поверхні підшипників зауважень не мають і придатні до подальшої роботи.

5. Вкладиші корінних підшипників колінчастого вала знаходяться в задовільному стані, на робочих поверхнях вкладишів збереглося свинцювате покриття, за винятком вкладиша четвертої опори, де виявлено натир до свинцебронзи площею $\approx 1 \text{ см}^2$. Вкладиші придатні до подальшої роботи.

6. Корпусні деталі, агрегати (нижні картери, блок, розподільні вали, колінчастий вал і ін.) після випробувань були чисті, мазеподібних відкладень не мали.

7. Агрегати – масляний насос, масляний відцентровий фільтр, нагнітач, паливний насос у процесі тривалої роботи на мастилі Галол М-4042 ТД забезпечили параметри в межах вимог технічних умов, після випробувань знаходяться в задовільному технічному стані і придатні до подальшої роботи.

Результати оцінки технічного стану двигуна В-46-6 свідчать про те, що

він має достатній запас експлуатаційних властивостей, що забезпечують працездатність двигуна і надійність його деталей і складальних одиниць протягом гарантійного наробітку, що є підтвердженням правильності апостеріорного діагностування за логістичною схемою.

Таблиця 5 – Параметри двигуна В-46-6 № У03 АТ-5645 при $n = 1400$ об/хв

№	Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Етапи роботи				
				1	10	20	30	35
1	Крутячий момент	$M_{кр}$	кгм	307	298	288	284	286,5
2	Потужність	N_e	к.с.	600	582	563	555	560
3	Годинна витрата палива	G_T	кг/год	105	105,3	103	104	106
4	Питома витрата палива	g_e	г/елсч	175	180,9	182,9	187,4	189,3
5	Тиск повітря після нагнітача	P_k	кгс/см ²	1,403	1,42	1,40	1,39	1,40
6	Витрата повітря через двигун	G_v	кг/с	0,688	0,701	0,682	0,695	0,677
7	Сум. коеф. надлишку повітря	$\phi\alpha$	-	1,63	1,65	1,64	1,66	1,58
8	Температура відпрацьованих газів	$t_{г\text{лів}}$	°C	613	601	630	636	655
		$t_{г\text{прав}}$	°C	645	605	645	645	658
9	Температура повітря на вході	$t_{вс}$	°C	8	6	3	6	7
10	Атмосферний тиск	V_o	мм.рт.ст	738	754	740	741	749
11	Відносна вологість повітря	ϕ	%	70	75	72	80	75
12	Щільність палива	ρ_T	кг/см ³	0,833	0,820	0,818	0,820	0,817
13	Тиск газів в картері	$P_{карт}$	мм.в.ст.	+20	+20	+30	+20	+20
14	Розрідж. пов. перед нагніт.	$H_{вс}$	мм.в.ст.	-185	-190	-180	-180	-190
15	Температура води та мастила на виході з двигуна	$t_{в\text{вих}}$	°C	104	78	90	92	78
		$t_{м\text{вих}}$	°C	90	82	84	85	80
16	Темпер. пал. на вході в дв.	$t_{Твх}$	°C	13	12	14	14	10
17	Тиск мастила в гол. магіст.	$P_{г\text{лм}}$	кг/см ²	10,6	10,8	10,1	10,5	10,9
18	Тиск мастила в розподільчих валах	$P_{г\text{лмлв}}$	кг/см ²	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0
		$P_{г\text{лмпр}}$	кг/см ²	1,1	1,1	0,9	1,0	1,05
19	Прокачка води через двигун	$G_{води}$	т/ч	4,2	4,7	4,5	4,6	4,5

Висновки стендових випробувань:

1. Моторне мастило Галол М-4042 ТД забезпечило працездатність двигуна В-46-6 в обсязі гарантійного терміну 350 годин без зауважень. Після випробувань двигун знаходиться в працездатному стані.

2. За час випробувань потужність двигуна на номінальному режимі зменшилася на 3,9%, а питома витрата палива збільшилася на 3,7%, що знаходиться в припустимих межах вимог технічних умов ТУ ОС-34Р-2. Інші контрольовані параметри двигуна – витрата мастила на чад, тиск мастила в головній магістралі, температури води й мастила, тиску в картерах і ін. - у процесі випробувань знаходилися в припустимих межах.

Таблиця 6 – Вміст продуктів зносу в мастилї та відкладеннях з МЦФ (В-46-6)

Етапи	Вміст продуктів зносу в мастилї, г/т					Вміст продуктів зносу у відкладеннях з МЦФ,%						
	Fe	Cr	Cu	Pb	Al	Загальна вага відкладень, г	% неорганічної частини	Fe	Cr	Cu	Pb	Al
1	13,5	1,1	8,2	1,73	3,5	-	-	-	-	-	-	-
5	14,6	1,33	12,7	2,36	4,8	-	-	-	-	-	-	-
7	16,2	1,67	12,0	2,48	6,5	190,0	30,0	2,5	0,2	1,0	0,5	0,8
8	11,0	1,03	8,9	3,64	3,3	-	-	-	-	-	-	-
9	21,7	1,43	10,6	2,8	6,3	-	-	-	-	-	-	-
10	22,4	1,49	15,2	2,68	5,3	-	-	-	-	-	-	-
12	7,7	0,85	6,5	1,77	2,9	-	-	-	-	-	-	-
14	10,7	1,11	5,7	2,44	3,4	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	250,0	33,2	2,2	0,14	1,22	0,58	0,63
17	17,2	1,58	7,7	1,86	6,8	-	-	-	-	-	-	-
19	11,0	1,13	5,6	1,94	4,2	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	339,0	25,1	0,64	0,05	0,34	0,11	0,17
22	11,0	0,93	3,8	1,85	4,5	-	-	-	-	-	-	-
24	16,1	1,25	9,7	2,1	4,4	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	356,5	15,4	0,34	0,03	0,195	0,06	0,1
28	14,8	1,02	6,7	1,58	5,4	-	-	-	-	-	-	-
30	17,3	1,17	5,3	1,28	3,8	293,0	25,1	0,25	0,027	0,11	0,04	0,075
34	9,2	0,78	3,4	1,4	2,3	-	-	-	-	-	-	-
35	13,0	0,9	4,6	1,32	3,3	260,0	61,8	1,08	0,075	0,44	0,15	0,26

3. Двигун після випробувань знаходився в задовільному технічному стані, що свідчить про високий рівень експлуатаційних властивостей мастила Галол М-4042 ТД. Знос найбільш навантажених деталей циліндро-поршневої групи незначний (зазори в замку поршневих кілець знаходяться в межах 0,95...1,25 мм, площа прилягання кілець до дзеркала циліндра складає більш 85%, овальність дзеркала циліндрів 0,01...0,06 мм). геометричні розміри робочих поверхонь циліндра, поршнів, пальців і втулок ВГШ, вкладишів корінних підшипників після тривалих випробувань збереглися в межах вимог технічних умов на складання двигуна В-46-6 після капітального ремонту. Деталі, складальні одиниці й агрегати зауважень не мають і придатні до подальшої роботи. Гумово - технічні вироби - у працездатному стані.

4. Золо-, лако- і чадовідкладення на деталях циліндро-поршневої групи практично відсутні. Поршні лівої і правої групи чисті. Рухливість поршневих кілець збереглася. Корпусні деталі, колінчатий вал, розподільчі вали, шатуни

чисті, без мазеподібних відкладень.

5. Фізико-хімічні показники мастила Галол М-4042 ТД залишалися в межах, що забезпечили проведення випробувань двигуна В-46-6 в обсязі гарантійного наробітку без заміни мастила.

6. Результати описаних стендових випробувань можуть бути поширені на весь спектр дизелів АНТ.

Список літератури: 1. Двигатели внутреннего сгорания: Номенклатурный справочник. Ч.1. – М.: ЦНИИТЗИтяжмаш, 1979. – 88 с. 2. Двигатели внутреннего сгорания: Номенклатурный справочник. Ч.1. – М.: ЦНИИТЗИтяжмаш, 1996. – 81 с. 3. *Костин А.К.* Способ оценки ресурса дизеля до первой переборки // Двигателестроение, 1981. – № 11. – С. 47-48. 4. *Іващенко І.І., Приймаков О.Г., Шунайлов А.Г.* Розробка інтегральних показників діагностування технічного стану дизельних двигунів // Двигатели внутреннего сгорания. – Харків: НТУ «ХПІ». – № 1-2. – 2003. – С. 57-61. 5. *Іващенко І.І., Приймаков О.Г.* Прогнозування залишкового ресурсу та надійності дизелів авіаційної наземної техніки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2003. – № 4. – С. 11-17. 6. *Приймаков О.Г., Іващенко І.І.* Математичне моделювання процесу вібродіагностики // Вестник науки и техники. – 2002. – № 4. – С. 11-17. 7. *Іващенко І.І., Приймаков О.Г.* Діагностування працездатності опор ковзання для авіаційної наземної техніки. // Вестник науки и техники. – 2003. – № 1. – С. 9-14. 8. *Іващенко І.І.* Розробка методики визначення технічного стану дизельних двигунів комплексним вібраційним методом // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2003». – № 3. – С. 34.37-34.40. 9. ТУ ОС - 32 Р - 2 «Періодичні випробування». – Харків: вид. ХКБД, 1997. – 254 с.

Надійшла до редакції 12.04.2006

УДК 621.165

В.Н.ПУСТОВАЛОВ, канд.техн.наук;

В.В.НАВРОЦКИЙ, канд.техн.наук; **Т.И.МИХАЙЛЕНКО**, НТУ «ХПІ»

ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ЦИЛИНДРЕ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Наведено наближене рішення нестационарної задачі теплопровідності для циліндра кінцевої довжини. Метод рішення пов'язаний з переходом в осесиметричному диференційному рівнянні до нової змінної у вигляді середньоінтегрального значення температури. Порівняльні розрахунки точного та наближеного рішень свідчать про достатню ефективність і зручність методу для практичних розрахунків.

The approximate solution of non-steady thermal conductivity for the final dimension cylinder is resulted. The method of solution is related to transition in the axis - symmetric differential solution to new variable as the overall integral value of temperature. Comparative computations of exact and approximate decisions testify to sufficient efficiency and convenience of method for practical computations.

Температурное поле цилиндра конечных размеров может быть определено как произведение относительных температур неограниченной пластины толщиной $2l$ (l – полутолщина) и неограниченного цилиндра радиуса R при одинаковой начальной температуре t_0 , одинаковом коэффициенте теплоотда-