

мых тел. – М., 1965. – 451 с. 7. *Голоскоков Е.Г., Филиппов А.П.* Нестационарные колебания деформируемых систем. – Киев., 1977. – 340 с. 8. *Филиппов А.П., Кохманюк С.С., Янютин Е.Г.* Деформирование элементов конструкций под действием ударных и импульсных нагрузок. – К.: Наукова думка, 1978. – 184 с.

*Поступила в редколлегию 03.04.2006*

УДК 839.4:02

***В.О.ПОВГОРОДНИЙ***, канд.техн.наук, ИПМаш НАН Украины

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРНОГО БЛОКА САМОЛЕТА ПО ВИБРОУСКОРЕНИЯМ**

Розглянуто числові характеристики показників безвідмовності з урахуванням віброприскорень, власних частот та термонапружень. Задачі вирішуються з використанням методу скінченних елементів та теорії викидів. Результати досягнуто для нового приладового блоку літака, що уявляє собою пакет плат з електронними радіотехнічними елементами (ЕРЕ).

In this article are introduced number's index of the fail-safe including vibration accelerations, free frequencies and thermal stresses. The problem is solved by the finite element's method and method of the theory of throw outs. The results for the new device of aircraft, which introduce the pocket of plates with electronical radiotechnical elements.

Результаты расчета показателей надежности по каждой плате и корпусу, входящим в блок воздушных параметров (БВП) [1], при изменении времени непрерывной работы (времени полета)  $t_n$  от 0 до 12 ч с учетом внезапных отказов (вибрационных – по виброускорениям) приведены в табл. 1, 2.

Функции надежности по виброускорениям, полученные с использованием теории выбросов по каждой из плат и корпусу, входящим в блок БВП, по которым можно спрогнозировать вероятность безотказной работы (ВБР) и наработку на отказ:

$$\begin{aligned} P_k(t) &\approx 1 - 0,00000000000038 \cdot t; \\ P_1(t) &\approx 1 - 0,000000646 \cdot t; \\ P_2(t) &\approx 1 - 0,000000661 \cdot t; \\ P_3(t) &\approx 1 - 0,000000741 \cdot t. \\ P_4(t) &\approx 1 - 0,000000688 \cdot t; \\ P_5(t) &\approx 1 - 0,000000689 \cdot t. \end{aligned} \quad (1)$$

По статической прочности для БВП получают большие значения показателей безотказности (конструкция высоконадежная). Поэтому эти данные в таблицах не приводим. Значения показателей надежности (безотказности) по виброперемещениям аналогичны значениям по виброускорениям и значения наработки на отказ получены при доверительной вероятности  $\gamma=0,99$  [2,3].

Таблица 1 – Результаты расчетов пластины (платы с ЭРЭ)

№ точки	Расчет						
	Собственная частота, Гц	Виброперемещения, $10^{-3}$ м	Дисперсия виброперемещений, $10^{-6}$ м <sup>2</sup>	Виброскорость, г	Дисперсия виброускорений, г <sup>2</sup>	Напряжения, Па	Дисперсия напряжений, Па <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
1	120,0	1,0486	0,478	60,4	1,03	19268	52465,5
	160,0	0,140625	0,201	14,4	1,37	2583,98	22061,9
	169,0	0,0455	0,171	5,2	1,45	836,1	18769
	174,06	0,0396	0,156	4,8	1,49	727,65	17122,6
1	204,0	0,0276	0,097	4,6	1,75	507,15	10646,8
	228,8	0,0501	0,068	10,5	1,96	920,6	7463,7
	242,0	0,0141	0,058	3,3	2,1	259,1	6366,1
	260,0	0,0096	0,046	2,6	2,2	1764	5048,98
	274,9	0,00364	0,04	1,1	2,4	66,9	4390,4
	284,7	0,0031	0,035	0,99	2,44	56,96	3841,6
	286,3	0,0034	0,0035	1,1	2,45	62,5	3841,5
	311,0	0,08814	0,027	34,1	2,66	1619,6	2963,5
	324,0	0,0555	0,024	23,3	2,77	1019,8	2634,25
	329,0	0,036955	0,023	16,0	2,82	6791	2524,5
	330,6	0,03202	0,022	14,0	2,83	588,4	2414,7
	337,0	0,0293	0,021	13,3	2,89	538,4	2305
	343,0	0,0136	0,02	6,4	2,94	249,9	2195,2
	349,5	0,0072	0,019	3,5	2,99	132,3	2085,4
	357,0	0,01216	0,018	6,2	3,1	223,4	1975,7
	369,0	0,0066	0,016	3,6	3,16	121,3	1756,2
	385,0	0,0071	0,014	4,2	3,3	130,5	1536,6
	425,0	0,00166	0,010	1,2	3,64	30,5	1097,6
426,0	0,00135	0,01	0,98	3,65	24,8	1097,5	
2	120,1	0,8943	0,346	51,6	0,75	16432,8	37977
	159,7	0,0921	0,087	9,4	0,59	1692,3	9549,2
	169,0	0,0298	0,073	3,4	0,62	547,6	8012,5
	175,0	0,01959	0,037	2,4	0,37	360,0	4061
	203,0	0,00758	0,007	1,25	0,13	139,3	768,3
	227,0	0,01378	0,005	2,84	0,14	253,2	548,8
	240,0	0,0021	0,001	0,48	0,045	38,6	109,76
	259,0	0,0037	0,006	0,995	0,32	68,0	658,6

Продолжение табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8
2	274,0	0,0014	0,005	0,42	0,35	25,7	548,8
	284,5	0,0031	0,035	0,99	2,44	57,0	3841,6
	286,0	0,0013	0,005	0,42	0,36	23,9	548,9
	310,0	0,0341	0,004	13,1	0,39	626,9	439
	323,0	0,0082	0,00052	3,4	0,059	150,7	57,1
	328,0	0,00999	0,001	4,3	0,21	183,6	109,76
	330,0	0,0087	0,001	3,8	0,21	159,9	109,76
	336,0	0,0147	0,005	6,65	0,72	270	548,8
	342,0	0,0089	0,008	4,18	1,255	163,5	878
	349,0	0,0047	0,008	2,3	1,276	86,4	878
358,0	0,0103	0,004	5,3	2,26	189,3	439	
3	120,0	0,096875	0,407	55,8	0,879	17800,8	44672,5
	159,8	0,09986	0,101	10,2	0,685	1834,9	11085,8
	230,0	0,03497	0,033	7,4	0,98	642,57	3622,1
	242,0	0,00538	0,008	1,26	0,31	98,86	878,1
	259,0	0,00969	0,047	2,6	2,2	178,1	5158,7
	311,0	0,08814	0,027	34,1	2,66	1619,6	2963,5
	324,0	0,0212	0,003	8,9	0,41	389,55	329,3
	328,0	0,02626	0,011	11,3	1,41	482,5	1207,4
	349,5	0,0051	0,009	2,48	1,5	93,7	987,8
	357,4	0,0112	0,015	5,73	2,65	2058	1646,4

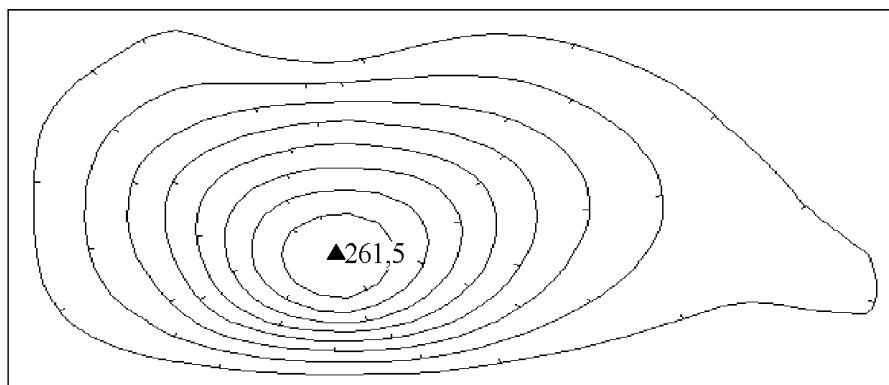


Рисунок 1 – Определение опасной с точки зрения надежности точки корпуса (маркером отмечен экстремум, рядом приведено значение виброперемещения,  $10^{-3}$  м), исходя из линии уровня виброрельефа на 1-ом резонансе ( $F_1 = 304,8$  Гц)

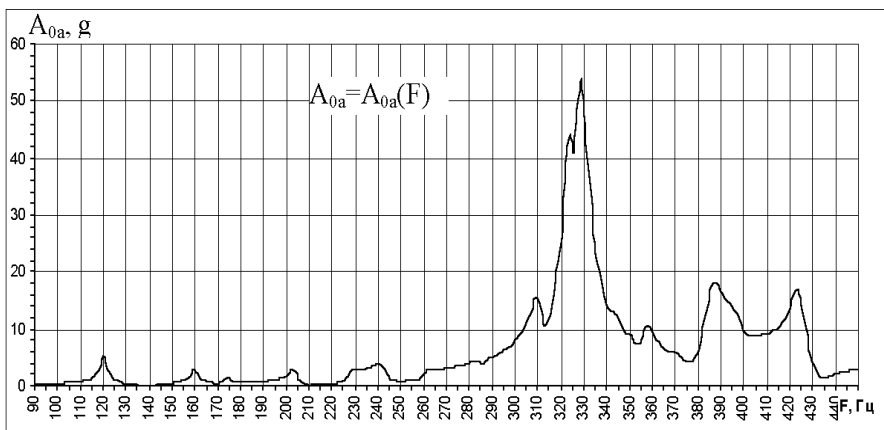


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика в средней точке корпуса блока воздушных параметров

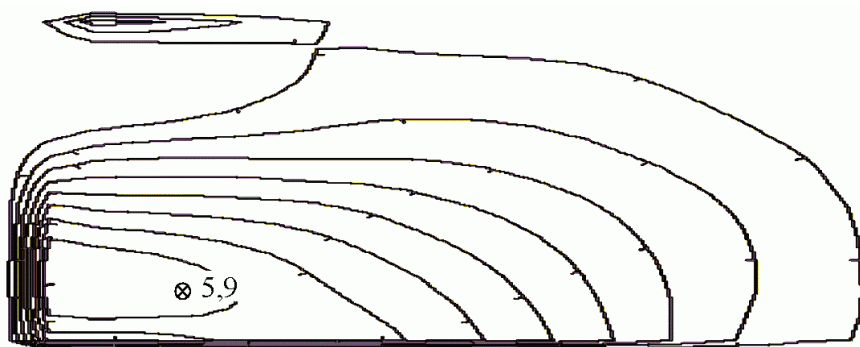


Рисунок 3 – Определение опасной с точки зрения надежности точки платы модуля давления (маркером отмечен экстремум, рядом приведено значение виброперемещения,  $10^{-3}$  м), исходя из линии уровня виброрельефа на 1-ом резонансе ( $F_1 = 180$  Гц)

Таблица 2 – Результаты расчета показателей надежности каждой платы для блока воздушных параметров по виброускорениям

№ п/п	Показатели безотказности	
	Вероятность безотказной работы	Наработка до $\Gamma^0$ отказа, ч
1	0,99916	$2,2 \cdot 10^8$
2	0,99917	1290
3	0,99919	1261
4	0,99917	1125
5	0,99917	1211
6	0,99917	1210

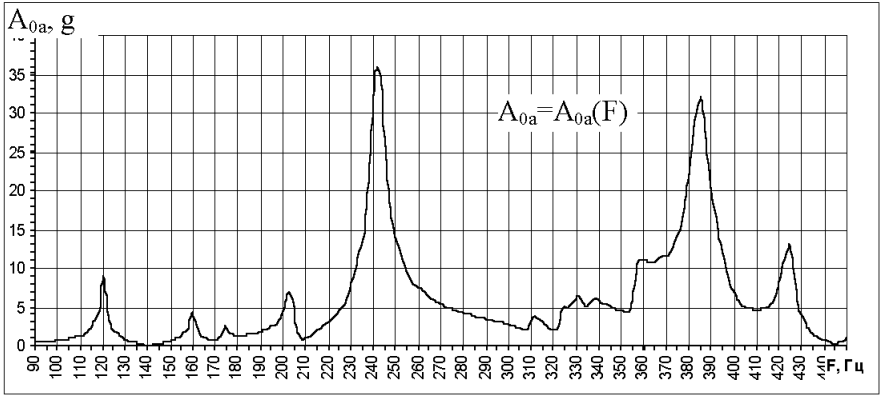


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика платы модуля давления в средней точке

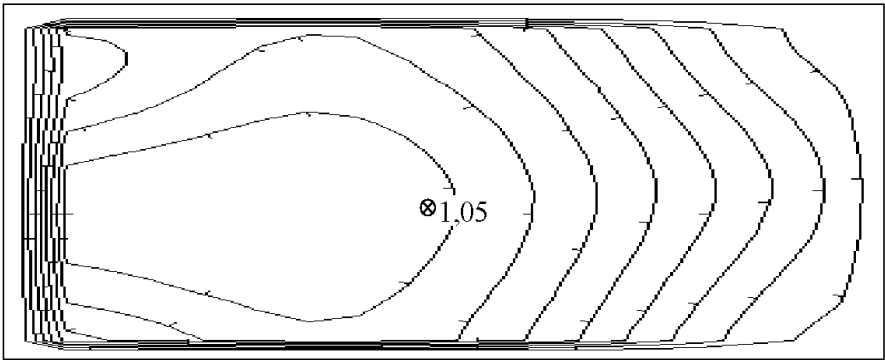


Рисунок 5 – Определение опасной с точки зрения надежности точки платы разовых команд (маркером отмечен экстремум, рядом приведено значение виброперемещения,  $10^{-3}$  м), исходя из линии уровня виброрельефа на 1-ом резонансе ( $F1 = 120$  Гц)

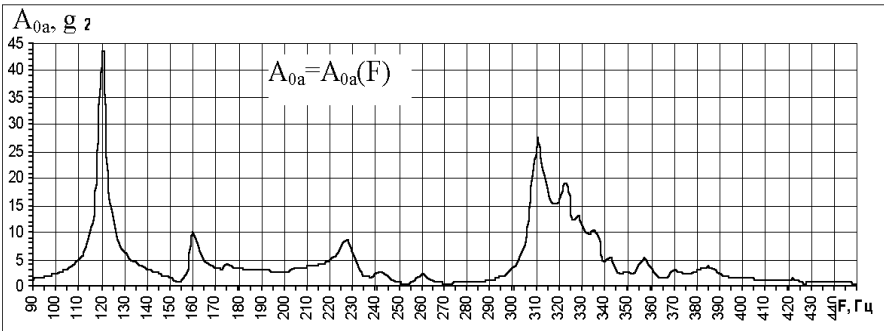


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика платы разовых команд в средней точке

Таблица 3 – Вероятность безотказной работы по виброускорениям с учетом первой собственной формы для блока воздушных параметров

$t$ полета, ч	Вероятность безотказной работы $P$ (виброускорения)					
	Корпус	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Плата 5
1	2	3	4	5	6	7
1	0,9 <sub>11</sub> 38	0,9 <sub>6</sub> 353	0,9 <sub>6</sub> 34	0,9 <sub>6</sub> 258	0,9 <sub>6</sub> 31	0,9 <sub>6</sub> 31
2	0,9 <sub>11</sub> 24	0,9 <sub>5</sub> 87	0,9 <sub>5</sub> 87	0,9 <sub>5</sub> 85	0,9 <sub>5</sub> 86	0,9 <sub>5</sub> 86
3	0,9 <sub>10</sub> 88	0,9 <sub>5</sub> 81	0,9 <sub>5</sub> 81	0,9 <sub>5</sub> 78	0,9 <sub>5</sub> 79	0,9 <sub>5</sub> 79
4	0,9 <sub>10</sub> 85	0,9 <sub>5</sub> 74	0,9 <sub>5</sub> 74	0,9 <sub>5</sub> 70	0,9 <sub>5</sub> 73	0,9 <sub>5</sub> 73
5	0,9 <sub>10</sub> 81	0,9 <sub>5</sub> 68	0,9 <sub>5</sub> 67	0,9 <sub>5</sub> 63	0,9 <sub>5</sub> 66	0,9 <sub>5</sub> 66
6	0,9 <sub>10</sub> 77	0,9 <sub>5</sub> 61	0,9 <sub>5</sub> 60	0,9 <sub>5</sub> 55	0,9 <sub>5</sub> 59	0,9 <sub>5</sub> 59
7	0,9 <sub>10</sub> 74	0,9 <sub>5</sub> 54	0,9 <sub>5</sub> 54	0,9 <sub>5</sub> 48	0,9 <sub>5</sub> 52	0,9 <sub>5</sub> 52
8	0,9 <sub>10</sub> 70	0,9 <sub>5</sub> 48	0,9 <sub>5</sub> 47	0,9 <sub>5</sub> 41	0,9 <sub>5</sub> 45	0,9 <sub>5</sub> 45
9	0,9 <sub>10</sub> 66	0,9 <sub>5</sub> 42	0,9 <sub>5</sub> 41	0,9 <sub>5</sub> 33	0,9 <sub>5</sub> 38	0,9 <sub>5</sub> 38
10	0,9 <sub>10</sub> 62	0,9 <sub>5</sub> 35	0,9 <sub>5</sub> 34	0,9 <sub>5</sub> 26	0,9 <sub>5</sub> 31	0,9 <sub>5</sub> 31
11	0,9 <sub>10</sub> 58	0,9 <sub>5</sub> 29	0,9 <sub>5</sub> 27	0,9 <sub>5</sub> 19	0,9 <sub>5</sub> 24	0,9 <sub>5</sub> 24
12	0,9 <sub>10</sub> 54	0,9 <sub>5</sub> 22	0,9 <sub>5</sub> 21	0,9 <sub>5</sub> 11	0,9 <sub>5</sub> 17	0,9 <sub>5</sub> 17

Таблица 4 – Нарботка на отказ по виброускорениям с учетом первой собственной формы для блока воздушных параметров

$t$ полета, ч	Нарботка на отказ $T$ (виброускорения), ч					
	Корпус	Плата 1	Плата 2	Плата 3	Плата 4	Плата 5
1	$2,6 \cdot 10^9$	15456,5	15106	13493	14535	14514
2	$1,3 \cdot 10^9$	7740	7564	6748	7268	7257
3	$8,75 \cdot 10^8$	5160	5043	4498	4845	4838
4	$6,6 \cdot 10^8$	3870	3782	3374	3634	3629
5	$5,75 \cdot 10^8$	3096	3026	2699	2907	2903
6	$4,3 \cdot 10^8$	2580	2521	2249	2422,5	2419
7	$3,75 \cdot 10^8$	2211,4	2161	1928	2076	2073
8	$3,28 \cdot 10^8$	1935	1891	1687	1817	1814
9	$2,9 \cdot 10^8$	1720	1681	1499,5	1615	1613
10	$2,6 \cdot 10^8$	1548	1513	1349,5	1454	1451
11	$2,4 \cdot 10^8$	1407	1375	1227	1321	1319
12	$2,2 \cdot 10^8$	1290	1261	1125	1211	1210

Зависимости вероятности безотказной работы по виброускорениям от времени непрерывной работы для наиболее опасного элемента конструкции (ЭК) БВП–платы разовых команд (ПРК) – приведены на рис. 7. Также для ПРК в наиболее опасной средней точке приведены зависимости наработки на отказ и дисперсий виброускорений от логарифмического декремента колебаний, соответственно, на рис. 4 и рис. 5, а также зависимость наработки на отказ от дисперсий виброускорений – на рис. 6. Видно, что с увеличением логарифмического декремента колебаний показатели надежности (безотказности)

улучшаются (ВБР и наработка на отказ) увеличиваются, при увеличении дисперсий виброускорений показатели безотказности ухудшаются, что соответствует формуле (1). Наиболее подходящий логарифмический декремент в соответствии с требованиями технического задания (ТЗ) (а, именно, ВБР) будет  $\delta = 0,052$ . Зависимость ВБР от времени непрерывной работы в наиболее опасной точке БВП – средней точке ПРК представлена на рис. 7.

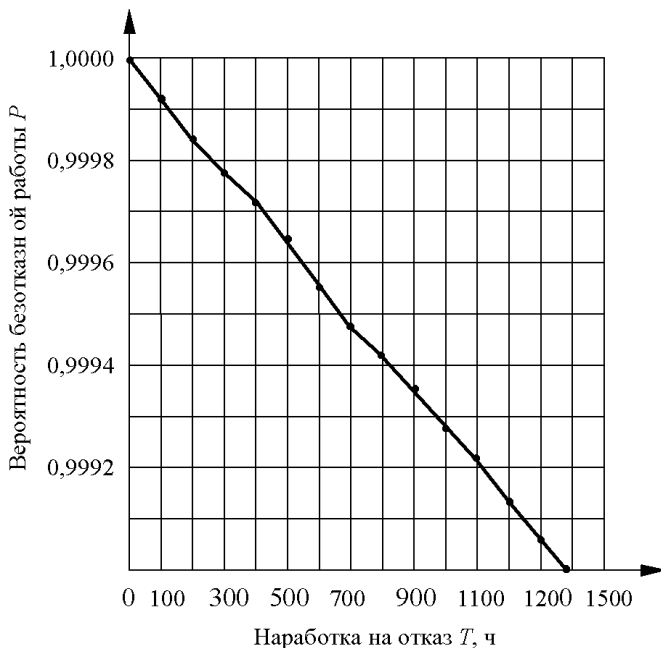


Рисунок 7 – Зависимость вероятности безотказной работы от наработки до первого отказа для платы разовых команд

**Выводы.** Определены показатели надежности (ВБР, наработка на отказ) с учетом вибрационных отказов (виброускорения), а также отказов статической прочности. На основе разработанных в работе подходов и программного обеспечения для ПЭВМ решены задачи статистической динамики и прогнозирования надежности при внезапных отказах рассматриваемой пространственной коробчатой конструкции – БВП при действии случайной нагрузки в виде «белого шума». Задача динамики решается в отдельных точках конструкции с использованием МКЭ, а задачи прогнозирования надежности – с использованием математического аппарата теории выбросов. Проведен анализ опасных мест конструкции БВП с учетом динамического НДС, который показал, что к ним относятся области в средней точке платы 4 (ПРК). Определены показатели надежности с учетом различных значений логарифмического декремента колебаний и вероятностного задания кривых усталости. Полученные

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-