

## ИНДУКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ В БОРТОВОМ ОБОРУДОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А. Д. СЕРЕБРЯКОВ

*Институт Транспорта и Связи, ул. Ломоносова 1, Рига, LV-1019, Латвия*

Рассмотрены примеры возможного применения индукторных электрических машин в агрегатах бортового оборудования воздушных судов с целью повышения их надежности.

Tiek apskatīti piemēri induktoru elektriskās mašīnu iespējamās lietošanas bortiekārtu lidaparātu agregātos, tos drošības palielināšanas nolūkā.

Examples of possible employment of inductor electrical machines in the assemblies aircraft equipment with the goal his reliability rise.

В работе [1] отмечается, что в настоящее время традиционный критерий уровня бортового оборудования – его масса – отступает на второй план, поскольку его сокращение уже не дает существенного экономического эффекта. На первый план выступают необходимость повышения общей безопасности полетов и резкого сокращения эксплуатационных расходов. Для достижения этих целей требуется, в частности, расширение встроенного контроля и создание избыточных структур бортового оборудования (БО). При этом предполагается переход от освоенной эксплуатации “по состоянию до отказа” к следующему уровню – “накопление отказов до допустимого уровня надежности”.

Важное значение сохраняется за совершенствованием бортового и наземного авиационного оборудования (БНАО) в направлении увеличения его надежности и других эксплуатационно-технических характеристик путем модернизации и создания новых, более совершенных агрегатов. Как показано в [2], это может быть обеспечено, например, за счет замены в машинодержущих агрегатах БНАО разнотипных, в большинстве случаев, малонадежных электрических машин (ЭМ) на конструктивно более простые и надежные бесконтактные индукторные электрические машины (ИЭМ) с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками. Последние при однотипности общей компоновки могут работать в любом режиме обычных и информационных электрических машин.

Замена обычных ЭМ на индукторные повышает надежность агрегатов БНАО как за счет большей надежности ЭМ, так, в ряде случаев, дополнительно, за счет уменьшения числа элементов агрегата (например, исключения редуктора), изменения режима его работы (например, при использовании дискретного привода, управляемого от ЭВМ) и других случаев изменения структуры агрегатов БНАО.

Конструкция ИЭМ позволяет использовать ее в качестве датчика выработки подшипников агрегатов, что способствует улучшению их контроле- пригодности. Конструктивная простота ИЭМ обеспечивает сокращение эксплуатационных расходов ее самой, а также и агрегатов, в которых будут устанавливаться эти машины.

Агрегаты БНАО состоят из большого количества деталей, узлов, элементов, обладающих различной надежностью. Основные из них, наиболее употребительные, с соответствующим диапазоном интенсивности отказов  $\lambda_i$  и средним значением интенсивности отказов  $\lambda_{i\text{cp}}$ , приведены на Рисунке 1. Видно, что в этом ряду наиболее слабым звеном являются щеточные (контактные) электрические машины. Между тем, БНАО содержит значительное количество разнообразных по типу и мощности ЭМ, что видно из Рисунка 2, на котором представлена структура БО самолета

Ту-154 по типам ЭМ, и из Таблицы 1, в которой аналогичные структуры представлены и для других типов ВС.

ТАБЛИЦА 1

Наименование параметра	Тип воздушного судна (ВС)					“Средний” самолет
	Ан-24	Як-40	Ту-134	Ту-154	Ил-62	
Общее количество агрегатов на самолете	440	390	483	556	584	490
Количество агрегатов с электрическими машинами (ЭМ)	152	137	166	194	207	171
Из них агрегатов:						
с одной ЭМ	118	114	118	131	133	123
с двумя ЭМ	23	23	26	33	40	29
с тремя ЭМ	12	14	17	21	22	17
с четырьмя и более ЭМ	4	3	4	9	8	6
Общее количество ЭМ на ВС	220	215	250	312	325	262
Из них:						
а) электродвигателей	140	144	137	173	179	155
в том числе:						
Асинхронных	64	61	59	97	99	76
синхронных	2	2	3	3	2	2
постоянного тока	74	81	75	73	78	76
б) генераторов	4	3	5	5	6	4
в том числе:						
постоянного тока	2	3	5	1	1	2
переменного тока	2	-	-	4	5	2
в) электромашинных преобразователей	7	7	8	5	2	6
г) информационных ЭМ	69	61	100	129	138	100

Таким образом, некоторый гипотетический “средний” самолет имеет 490 агрегатов БО, из которых 171 (то есть более 35 %) – машинодержательные (то есть имеющие те или иные электрические машины); общее количество ЭМ-262, а каждый машинодержательный агрегат БО содержит в среднем две ЭМ. Более 45 % ЭМ – контактные, то есть имеют малонадежный скользящий электрический контакт.

Такая существующая структура БО по типам ЭМ и создает объективные предпосылки увеличения надежности агрегатов БО при замене в них обычных, малонадежных ЭМ на более надежные ИЭМ. Аналогичное можно отметить и для наземного авиационного оборудования.

В [2] рассмотрены общие принципы улучшения технико-эксплуатационных характеристик ИЭМ и их применения в БНАО. Цель настоящей работы – рассмотрение ряда конкретных случаев использования ИЭМ в агрегатах БНАО.

Агрегатов, представляющих из себя собственно ЭМ, в БО немного (в среднем около 4 %). Это генераторы и электромашинные преобразователи. Большая часть агрегатов БНАО – это сложные устройства, в которых ЭМ являются одним из конструктивных элементов. Это электромеханизмы, топливные насосы, гироагрегаты, сигнальные маяки, авиагоризонты и т. п.

Оценка эффективности применения ИЭМ в БНАО осуществлялась определением изменения технико-эксплуатационных характеристик агрегатов, главным образом, их массы и надежности. Возможности включения ИЭМ в состав некоторых агрегатов БНАО, создание новых типов агрегатов с использованием ИЭМ и применение ИЭМ в диагностических целях были апробированы путем разработки эскизных проектов агрегатов БНАО с применением ИЭМ. Наиболее существенными из них являются примеры применения ИЭМ в качестве:

- 1) генератора переменного тока (с целью замены, например, генератора типа ГТ в системе электроснабжения ВС);
- 2) бесконтактного двигателя постоянного тока в электромеханизмах привода закрылков, элеронов, кранов и т. п.;
- 3) шагового вращательного двигателя рулевой машины АБСУ;
- 4) линейного шагового двигателя для привода золотника гидроусилителя рулевой машинки;
- 5) тихоходного безредукторного асинхронного двигателя в приводе сигнального лампового маяка;
- 6) асинхронного двигателя для привода топливных насосов;

- 7) тихоходного асинхронного и шагового вращательных двигателей в приводе “вращающихся” подшипников гироагрегата;
- 8) моментного асинхронного коррекционного двигателя гироагрегата;
- 9) синхронного шагового двигателя привода карты планшета навигационного вычислителя;
- 10) генератора аэродромной дизель-генераторной установки;
- 11) генератора ветроэлектрической установки вспомогательной системы электроснабжения аэропорта, базы ЭРТОС и т. п.;
- 12) ветрогенератора супераварийной системы электроснабжения ВС;
- 13) совмещенного измерительного преобразователя для контроля за выработкой подшипников индукторного генератора по п. 1;
- 14) встроенного датчика измерительного устройства по определению радиальной выработки подшипников ЭМ и различных агрегатов с вращающимся валом, и др.

Иллюстрации, характеризующие некоторые из перечисленных разработок, приведены на Рисунках 3-7. Существо и эффективность разработок заключается в следующем:

1. Замена каскадных генераторов типа ГТ40П46, ГТ40П48 (Ту-154, Ил-62, Ил-86/300) на двухпакетные аксиальные индукторные генераторы с самовозбуждением (Рисунок 3) при той же частоте вращения обеспечивает уменьшение интенсивности отказов с  $48 \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $23 \cdot 10^{-6}$  1/ч, что при условно заданном уровне надежности  $P(t) = 0,97$  дает возможность увеличить налет генератора без технического обслуживания (ТО) на 470 ... 500 ч. При одинаковой мощности в 40 кВт·А масса индукторного генератора ИГ40П46 увеличивается лишь на 3,6 % (с 38,8 до 40,2 кг), а интенсивность отказов уменьшается вдвое.
2. Замена коллекторного двигателя постоянного тока (ДПТ) в авиационных электромеханизмах на бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) индукторного типа (рис. 4) обеспечивает уменьшение интенсивности отказов ЭМ с  $(56 \dots 64) \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $32 \cdot 10^{-6}$  1/ч (то есть на 45 %) и соответствующее увеличение налета электромеханизма без ТО до достижения  $P(t) = 0,97$  на 250 ... 340 ч.
3. Рулевая машинка с применением шагового вращательного индукторного двигателя РМ-25ШД (рис. 5) обеспечивает не только приспособленность ее к работе в АБСУ дискретного типа, с применением ЭВМ, но и уменьшение интенсивности отказов по сравнению с аналогом – рулевой машинкой РД-25ФА в АБСУ-134 – вдвое (с  $92 \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $45 \cdot 10^{-6}$  1/ч), что соответственно увеличивает налет этого агрегата до  $P(t) = 0,97$  без ТО на 360 ... 410 ч. Это достигается за счет уменьшения передаточного числа редуктора и исключения электромагнитной муфты сцепления, функции которой в агрегате выполняет шаговый двигатель, развивающий в статическом режиме необходимый удерживающий момент.
4. Существующие сигнальные лампы маяки типа МСЛ-3, ОСС-61 имеют малонадежные контакты для питания ламп и в качестве привода – коллекторный двигатель постоянного тока с редуктором. Замена этого привода на тихоходный безредукторный индукторный двигатель (ИД), а также вращение отражателя, а не ламп (рис. 6), делает такой маяк бесконтактным, что значительно уменьшает его интенсивности отказов (с  $94 \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $21 \cdot 10^{-6}$  1/ч, то есть вчетверо) и увеличивает налет агрегата без ТО до  $P(t) = 0,97$  на 1000 ... 1200 ч.
5. В авиационных гироагрегатах (например, ГА-3, ГА-6) для уменьшения влияния момента трения опор гиromотора на отклонение его оси применяются специальные “вращающиеся” подшипники. Вращение средних колец этих подшипников происходит от реверсивных асинхронных двигателей (ДИД) с редукторами, причем в ГА-6 в узле реверса также применяется ДИД с редуктором. Использование для привода “вращающихся” подшипников тихоходного безредукторного асинхронного двигателя (Рисунок 7) позволяет избавиться от малонадежных редукторов, а узел реверса выполнить электронным. Это обеспечивает в ГА-6 уменьшение интенсивности отказов привода с  $55 \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $21 \cdot 10^{-6}$  1/ч (то есть более чем вдвое) и увеличение времени работы гироагрегата без ТО на 920 ... 1000 ч.
6. Для осуществления силовой гиросtabilизации в авиационных гиродатчиках, ЦГВ и т. п. используются либо ДИД с редукторами, либо асинхронный моментный двигатель. При замене их на моментные безредукторные индукторные двигатели (особенно в первом случае) обеспечивается повышение надежности гиросtabilизации за счет отсутствия редукторов: интенсивность отказов привода уменьшается с  $88 \cdot 10^{-6}$  1/ч до  $48 \cdot 10^{-6}$  1/ч (то есть на 47 %), а

увеличение налета агрегата без ТО происходит на 1300 ... 1500 ч.

Анализ изменения показателей надежности машинодержущих агрегатов БНАО после установки в них ИЭМ, подобный рассмотренным примерам, был проведен более чем для 100 различных агрегатов. Результаты анализа для 38 из них представлены в Таблице 2.

В Таблице 2:  $q$  – число ЭМ в агрегате;  $q'$  – число обычных ЭМ, заменяемых на ИЭМ;  $\lambda_{Э}, \lambda_{А}$  – интенсивность отказов ЭМ в агрегате и самого агрегата;  $\lambda'_{Э}, \lambda'_{А}$  – интенсивность отказов ЭМ после замены  $q'$  из них на ИЭМ и интенсивность отказов самого агрегата после замены;  $\Delta\lambda$  – уменьшение интенсивности отказов агрегатов после замены в них  $q'$  ЭМ на ИЭМ, %:

ТАБЛИЦА 2.

Наименование и шифр агрегата БО	Характеристики агрегатов						
	До установки ИЭМ			После установки ИЭМ			$\Delta\lambda,$ %
	$q$	$\lambda_{Э},$ $\cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$	$\lambda_{А},$ $\cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$	$q'$	$\lambda'_{Э},$ $\cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$	$\lambda'_{А},$ $\cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$	
Генератор ГС-12ТО	1	93	93	1	47	47	50
Генератор ГТ40П46	1	48	48	1	23	23	56
Электромеханизм МП-750	1	64	128	1	32	85	33
Электромеханизм ЭПВ150	1	56	138	1	32	103	25
Насос топливный ЭЦН325	1	82	106	1	32	55	48
Насос топливный ЭЦН-91	1	74	98	1	32	56	43
Фара посадочно-рулевая ПРФ-41	1	60	143	1	32	101	29
Насос топливный ПНВ-2В	1	76	105	1	32	58	45
Машинка рулевая РД-25ФА	1	18	93	1	11	45	52
Вентилятор ДВ-3	1	58	65	1	18	24	63
Электромеханизм МПК-13	1	61	145	1	32	112	23
Маяк сигнальный МСЛ-3	1	59	102	1	21	29	72
Электромеханизм МПЗ-9А	2	112	168	2	64	110	35
Умфомер У-600	2	148	148	2	53	53	64
Преобразователь ПТ-1000	2	93	172	2	52	137	20
Преобразователь ПТ-1500	2	140	262	2	56	173	34
Преобразователь ПТ-3000	2	142	228	2	56	140	39
Электромеханизм МУС-3ПТВ	2	40	98	2	36	78	20
Машинка рулевая РД-20	2	36	158	2	32	90	43
Преобразователь МА-100	2	64	136	2	50	120	12
Электромеханизм МУС-7	2	104	165	2	64	102	38
Электромеханизм МПК-15	2	130	194	2	64	111	65
Указатель курса УГР-4У	3	22	59	1	22	39	34
Коррекционный механизм КМ-5	3	22	64	1	22	40	38
Авиагоризонт АГБ-2	3	43	98	2	43	57	42
Блок пеленгов БП-5	3	23	69	1	23	54	22
Радиокомпас АРК-15	4	32	129	2	32	97	25
Указатель горизонта АГД-1	4	32	92	2	32	60	35
Прибор навигационный ПНП-72	4	33	136	3	30	70	48
Прибор командный ПКП-72	4	25	87	2	20	52	40
Блок гиromоторов БГМК-2	5	40	94	2	40	62	34
Указатель штурмана УШ-3	6	48	133	3	48	83	38
Авиагоризонт АГР-144	7	61	147	4	61	105	29
Гиродатчик АГД-1	7	86	157	3	84	112	29
Гироагрегат ГА-6	7	55	165	2	21	50	70
Индикатор планшета НВУ-Б3	8	64	198	2	21	81	59
Гироагрегат ГА-3	11	130	325	6	130	231	29
Гировертикаль МГВ-1ск	12	88	236	2	48	192	19
Средние значения показателей	3	66	137	2	42	83	39,4

$$\Delta\lambda = 100(\lambda_{А} - \lambda'_{А}) / \lambda_{А}.$$

Определение интенсивности отказов существующих агрегатов БНАО и агрегатов с использованием ИЭМ в рассмотренных примерах 1-6 и в Таблице 2 осуществлялось с

использованием средних значений интенсивностей отказов элементов  $\lambda_{\text{иср}}$ , представленных на Рисунке 1, а также структуры “старых” и “новых” агрегатов.

Таким образом, уменьшение интенсивности отказов БНАО за счет использования в них ИЭМ составляет в среднем 40 %. При этом оказывается, что масса агрегата после замены обычных ЭМ на ИЭМ в большинстве случаев почти не изменяется и в ряде случаев (около 25 %) даже несколько уменьшается.

Что касается других эксплуатационных показателей агрегатов БНАО после включения в них ИЭМ (в частности, контролепригодности, готовности к эксплуатации, трудозатрат на ТО и др.), то до конкретного применения агрегатов БНАО с ИЭМ названным и другим критериям можно дать лишь качественную положительную характеристику: они могут быть значительно улучшены.

### **Литература**

- [1] Ацуковский В. (1977) На кривой погони. *Авиапанорама*. Ноябрь – декабрь., Москва, 20-21
- [2] Серебряков А. Д. (1995) Об эффективности применения индукторных электрических машин в авиации. *Сб. научных трудов РАУ*, Рига, 45-53.

*Received on the 21<sup>st</sup> of November 1999*