

# Уменьшение износа щеток генератора авиационного исполнения

ИЗОТОВ А.И., МАМАЕВ Г.А., БЕСПАЛОВ В.Я., НИКУЛИН С.В.,  
ТИМОШЕНКО В.Н., ФОМИНЫХ А.А.

Рассматриваются вопросы влияния режимов работы генераторов авиационного исполнения на износ щёток и образование политурной плёнки. Предлагается методика, обеспечивающая получение на коллекторе политурных плёнок с повышенным сопротивлением. Приводятся результаты испытаний.

Ключевые слова: стартер-генератор, летательный аппарат, режимы работы, износ щеток

Задача исследований состояла в том, чтобы уменьшить износ щёток авиационного стартер-генератора, который используется на ряде летательных объектов для запуска силовых установок. На генераторе применяются щётки марки МГС-7И. Генератор работает в режиме «несколько запусков», затем в обесточенном состоянии.

В эксплуатации у генератора наблюдается повышенный износ щёток. В связи с этим были проведены работы по оценке влияния искрения в переходных процессах (наброс/ сброс нагрузки) на сопротивление политурной плёнки, которая, как известно, активно влияет на износ щёток. Опыты проводились в следующей последовательности: у исследуемого генератора снималась политурная плёнка (ПП) с замером её сопротивления  $R_{нач}$  (для контроля процесса снятия), щётки взвешивались на аналитических весах, наводилась политурная плёнка при работе генератора в двигательном режиме, замерялось конечное сопротивление политурной плёнки  $R_{кон}$ , после чего генератор включался на стартёрный режим с замером сопротивления политурной плёнки в конце режима. Исследовательский цикл  $t$  составлял 24 ч работы, длительность режимов и результаты исследований представлены в табл. 1.

Для замера сопротивления ПП в два щёткодержателя устанавливаются фальщётки 1 (рис. 1) из текстолита, в которых вмонтированы электроды 2. Давление на щетки 1 создаётся штатными пружинами. Электронным омметром замеряется суммарное сопротивление ПП на двух дорожках коллекторной пластины (перед началом измерений определяется сопротивление подводящих проводов и переходное контактных стержней). Сопротивление плёнки коллектора определялось как среднее арифметическое значение пластин.

The operating modes effect of aircraft generators have on the wear of brushes and on the formation of polish film is considered. A method is proposed using which polish films with increased resistance on the collector can be obtained, and test results are presented.

Key words: starter-generator, aircraft, operating modes, brushes wear

Таблица 1

| Условие опытов                          | Сопротивление ПП, Ом |           |
|---|----------------------|-----------|
|   | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t=7$ ч) | 0,002                | 0,37      |
| Стартёрный режим ( $t=3$ ч)             | 0,37                 | 0,0311    |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t=5$ ч) | 0,0311               | 0,345     |
| Стартёрный режим ( $t=1$ ч)             | 0,345                | 0,245     |
| Стартёрный режим ( $t=1$ ч)             | 0,245                | 0,135     |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t=5$ ч) | 0,135                | 0,6       |
| Стартёрный режим ( $t=1$ ч)             | 0,6                  | 0,408     |
| Стартёрный режим ( $t=1$ ч)             | 0,408                | 0,197     |

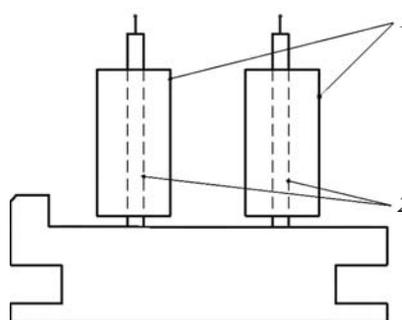


Рис. 1. Схема измерения сопротивления политурной плёнки

Исследования позволили сделать заключение: повышенный износ щёток в эксплуатации обусловлен нарушением политурной плёнки.

В дальнейшем были проведены работы по оценке политуруобразующих свойств ряда отечественных щёток (ЭГ-74, ЭГ-75, ЭГ-4, ЭГ-61А пропитанных, ЭГ-61 и др.). Во всех исследованиях перед началом работ снималась ранее наработанная ПП и замерялось  $R_{нач}$ .

В табл. 2 представлены частичные результаты исследований образования ПП за 30 ч работы генера-

тора в обесточенном состоянии ( $n = 6000$  об/мин). Каждой марке щётки соответствуют различные скорость образования ПП, сопротивление, а также износ. Наибольшее сопротивление ПП обеспечивают щётки ЭГ-74, наряду с высоким сопротивлением ПП они позволяют получить значительно меньший износ (время испытаний 30 ч взято из условия окончания времени формирования ПП у всех испытуемых щёток, которое определялось в соответствии с методикой [1]).

Таблица 2

| Номер генератора | Тип щёток (по 18 штук каждого типа) | Сопротивление ПП, Ом |           | Износ $h$ , мм |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------------|
|                  |                                     | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |                |
| 1                | МГС-7                               | 0,002                | 0,867     | 0,358          |
| 1                | ЭГ-74                               | 0,002                | 3,0       | 0,183          |
| 1                | ЭГ-75                               | 0,002                | 2,17      | 0,547          |
| 1                | ЭГ-4                                | 0,002                | 1,33      | 0,215          |
| 1                | ЭГ-61А пропитанные                  | 0,002                | 1,64      | 0,076          |
| 1                | ЭГ-61                               | 0,002                | 1,73      | 0,126          |

Табл. 3 иллюстрирует результаты исследований, когда испытуемый генератор работал под нагрузкой в течение 30 ч ( $I = 30$  А,  $n = 6000$  об/мин). Как и в предыдущих опытах, каждой марке щётки соответствуют своё конечное сопротивление ПП и износ. Наибольшее сопротивление ПП обеспечивают щётки ЭГ-4 и ЭГ-74.

Таблица 3

| Номер генератора | Тип щёток (по 18 штук каждого типа) | Сопротивление ПП, Ом |           | Износ $h$ , мм |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------------|
|                  |                                     | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |                |
| 1                | МГС-7                               | 0,002                | 0,528     | 0,463          |
| 1                | ЭГ-74                               | 0,002                | 2,113     | 0,247          |
| 1                | ЭГ-75                               | 0,002                | 2,08      | 0,161          |
| 1                | ЭГ-4                                | 0,002                | 3,41      | 0,303          |
| 1                | ЭГ-61А пропитанные                  | 0,002                | 2,01      | 0,081          |
| 1                | ЭГ-61                               | 0,002                | 0,912     | 0,073          |

В табл. 4, 5 приведены данные при работе по 30-часовому режиму на холостом ходу (табл. 4) и под нагрузкой (табл. 5) испытуемых генераторов ( $n = 6000$  об/мин), когда наряду со штатными щётками (15 штук) на каждую рабочую дорожку коллектора ставилось по одной политуруобразующей щётке, имеющей высокую скорость образования ПП. Полученные результаты позволяют сделать заключение: установка на коллектор щёток разных марок позволяет при определённых сочетаниях увеличивать сопротивление ПП с уменьшением износа штатных щёток.

Таблица 4

| Номер генератора | Тип щёток (по 18 штук каждого типа) | Сопротивление ПП, Ом |           | Износ $h$ , мм |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------------|
|                  |                                     | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |                |
| 2                | МГС-7                               | 0,002                | 1,29      | 0,407          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-74                        | 0,002                | 2,74      | 0,341          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-75                        | 0,002                | 0,49      | 0,695          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-4                         | 0,002                | 0,36      | 0,828          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-61                        | 0,002                | 0,50      | 0,809          |
| 2                | МГС-7                               | 0,002                | 1,42      | 0,319          |
| 2                | МГС-7 ЭГ-61А пропитанные            | 0,002                | 1,35      | 0,499          |
| 2                | МГС-7 ЭГ-61А непропитанные          | 0,002                | 1,86      | 0,494          |

Таблица 5

| Номер генератора | Тип щёток (по 18 штук каждого типа) | Сопротивление ПП, Ом |           | Износ $h$ , мм |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------------|
|                  |                                     | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |                |
| 2                | МГС-7                               | 0,002                | 1,507     | 0,326          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-74                        | 0,002                | 2,28      | 0,281          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-75                        | 0,002                | 0,844     | 0,457          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-4                         | 0,002                | 0,47      | 0,722          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-61                        | 0,002                | 0,99      | 0,367          |
| 2                | МГС-7                               | 0,002                | 1,76      | 0,323          |
| 2                | МГС-7, ЭГ-61А пропитанные           | 0,002                | 2,44      | 0,337          |

Таблица 6

| Условие опытов                            | Сопротивление ПП, Ом |           |
|---|----------------------|-----------|
|   | $R_{нач}$            | $R_{кон}$ |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t = 7$ ч) | 0,002                | 0,38      |
| Стартерный режим ( $t = 3$ ч)             | 0,38                 | 0,497     |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t = 5$ ч) | 0,497                | 0,501     |
| Стартерный режим ( $t = 1$ ч)             | 0,501                | 0,334     |
| Стартерный режим ( $t = 1$ ч)             | 0,334                | 0,327     |
| Двигательный режим ( $U=15$ В, $t = 5$ ч) | 0,327                | 0,8       |
| Стартерный режим ( $t = 1$ ч)             | 0,8                  | 0,529     |
| Стартерный режим ( $t = 1$ ч)             | 0,529                | 0,456     |

В табл. 6 представлены результаты исследований влияния пусковых режимов на сопротивление ПП в случае использования политуруобразующих щёток ЭГ-61А. Из анализа табл. 1 и 6 видно, что применение политуруобразующих щёток позволяет повысить устойчивость ПП к искрению, возникающему в стартерных режимах.

Два генератора были оборудованы политуруобразующими щётками ЭГ-61А (пропитанными) и ЭГ-74. На каждую рабочую дорожку устанавлива-

лось по две политуруобразующие щётки. Испытания в течение 60 ч проводились в режиме: 3 запуска и 10 ч работы в обесточенном состоянии. В конце каждого испытательного цикла измерялось сопротивление ПП и определялся износ щёток (перед испытаниями ПП была снята). Результаты испытаний генераторов в штатном состоянии и с политуруобразующими щётками представлены на рис. 2. Применение политуруобразующих щёток способствует увеличению сопротивления ПП и скорости её образования. Наилучший эффект обеспечивает щётка ЭГ-74.

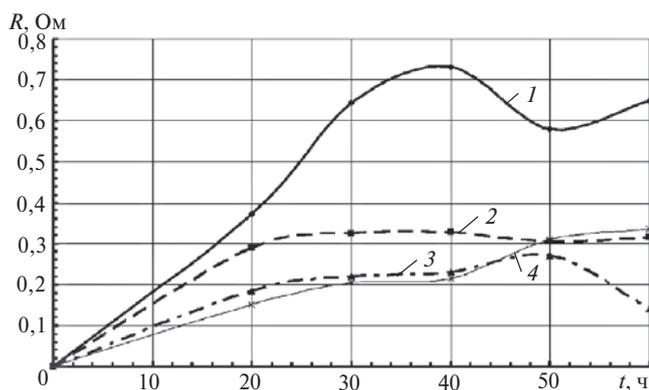


Рис. 2. Наведение политуруной пленки щетками МГС-7, ЭГ-74 и МГС-7, ЭГ-61А за 60 ч: 1 — МГС-7 и ЭГ-74, генератор № 88; 2 — МГС-7 и ЭГ-61А, генератор № 2; 3 — МГС-7, генератор № 88; 4 — МГС-7, генератор № 2

В дальнейшем два генератора были оборудованы политуруобразующими щётками ЭГ-61А (пропитанными), а третий щётками ЭГ-74. Один генератор направлен на ресурсные моторные испытания, второй и третий на лётные. У генератора, отправленного на моторные испытания на первой рабочей дорожке коллектора, была установлена одна политуруобразующая щётка, на второй — 3 щётки, на третьей — 2 щётки. Замер сопротивления ПП после испытаний показал разницу в сопротивлении по дорожкам (сопротивление ПП второй и третьей дорожек на 30% больше, чем первой и второй). По результатам лётных испытаний ресурсы генераторов, оборудованных щётками ЭГ-61А (пропитанными) и ЭГ-74, увеличились соответственно в 2 и 3 раза. На рис. 3 показаны размеры щёток после лётных испытаний в случае применения политуруобразующих щёток.

По результатам исследований получен патент на полезную модель [2]. Лётные испытания генераторов, оборудованных политуруобразующими щётками, продолжают.

| Дорожка 1 | Дорожка 2 | Дорожка 3 |
|-----------|-----------|-----------|
| 25,2      | 24,4      | 22,9      |
| 22,6      | 24,2      | 23        |
| 22,8      | 23,1      | 23        |
| 23,6      | 23,4      | 23        |
| 24        | 24,8      | 20,5      |
| 24,4      | 20,9      | 24,1      |

Рис. 3. Высота щеток после лётных испытаний (исходная 27 мм; по дорожкам 1, 2, 3 по длине коллектора скользят щетки); выделены политуруобразующие щётки ЭГ-61А

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. № 1468346 (СССР). Способ определения времени формирования политуруной плёнки на коллекторе электрической машины/А.И. Изотов, В.А. Шабардин, С.А. Изотов и др., 1988.

2. Полезная модель № 91479. Щёточно-коллекторный узел/А.И. Изотов, Г.А. Мамаев, В.Н. Тимошенко и др., 2010.

*А в т о р ы : Изотов Анатолий Иванович в 1962 г. окончил электротехнический факультет Омского института железнодорожного транспорта. В 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию «Определение оптимальных параметров дополнительных полюсов машин, работающих при резкопеременных циклических нагрузках». Заведующий кафедрой «Электрические машины и аппараты» (ЭМА) Вятского государственного университета (ВятГУ).*

*Мамаев Геннадий Александрович в 1979 г. окончил Вятский политехнический институт. В 2004 г. защитил кандидатскую диссертацию «Основы проектирования и организация промышленного производства медицинских озонаторных установок». Генеральный директор ОАО «Лепсе».*

*Беспалов Виктор Яковлевич окончил электромеханический факультет Московского энергетического института в 1960 г. Докторскую диссертацию «Асинхронные машины для динамических режимов работы» защитил в МЭИ в 1992 г. Профессор кафедры электромеханики НИУ «МЭИ»*

*Никулин Сергей Викторович в 2002 г. окончил ВятГУ. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Улучшение свойств щеточного контакта в электрических машинах». Декан заочного факультета ВятГУ.*

*Тимошенко Вячеслав Николаевич в 2003 г. окончил ВятГУ. Преподаватель кафедры ЭМА ВятГУ.*

*Фоминых Антон Анатольевич в 2006 г. окончил ВятГУ. Преподаватель кафедры ЭМА ВятГУ.*