УДК 629.78

ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОМОМЕНТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ В ВАКУУМЕ

Белый А.В., Карпович А.Н., Биленко Э.Г.

Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Исследовано влияние вакуума и низких температур на рабочие характеристики высокомоментного электрического двигателя. Установлено, что величина вакуума, в отличие от температуры, не влияет на его пусковые характеристики. Снижение температуры двигателя до 143 К повышает пусковой ток в 3,5 раза от номинального, при этом частота вращения не превышает 100 мин$^{-1}$, после чего двигатель останавливается.
(E-mail: vmo@tut.by)

Ключевые слова: высокомоментный электродвигатель, имитация космоса.

Введение

Одной из актуальных проблем современной космонавтики является увеличение срока службы космической техники и упрощение ее обслуживания [1–3]. Как внутри космической станции, так и снаружи имеются механизмы, состоящие из подвижных систем [4–6]. Эти механизмы управляются дистанционно, и коэффициент их безотказности должен быть максимально высоким. В результате сотрудничества белорусских и российских специалистов за последние 5 лет разработан экспериментальный образец высокомоментного электродвигателя (в дальнейшем – двигатель), который может работать как электродвигатель и как трибометр для определения триботехнических свойств материалов в условиях космического пространства [7].

Целью работы являлось определение работоспособности двигателя в вакууме при комнатной и низкой температурах в диапазоне скоростей вращения 0–1000 мин$^{-1}$.

Методика проведения исследований

Испытания двигателя проводились в вакуумной установке УВН-71П, рабочая камера которой оснащена откачным постом, обеспечивающим давление остаточных газов не выше $1{,}3\cdot10^{-4}$ Па, и криоплатформой, в которой циркулирует жидкий азот, обеспечивая на поверхности криоплатформы температуру до 120 К. Двигатель жестко закреплен на криоплатформе для обеспечения теплового контакта.

Для измерения температурных параметров использовалось 3 термопреобразователя сопротивления медь-константан класса В (ГОСТ 6651-94), которые позволяют регистрировать температуру в диапазоне 73–473 К с погрешностью измерения ±0,6 К. Термопары перед испытаниями тарировались на специальной установке при использовании сертифицированного ртутного термометра ТМ-8М. Температура фиксировалась с помощью многоканального измерителя-регулятора «Сосна-004» с погрешностью не более ±0,25 %.

На рисунке 1 показаны места расположения термопар: 1 – между поверхностью криоплатформы и корпусом двигателя; 2 – на корпусе двигателя в непосредственной близости от подшипника; 3 – во фторпластовой гильзе, касающейся обмотки статора двигателя.

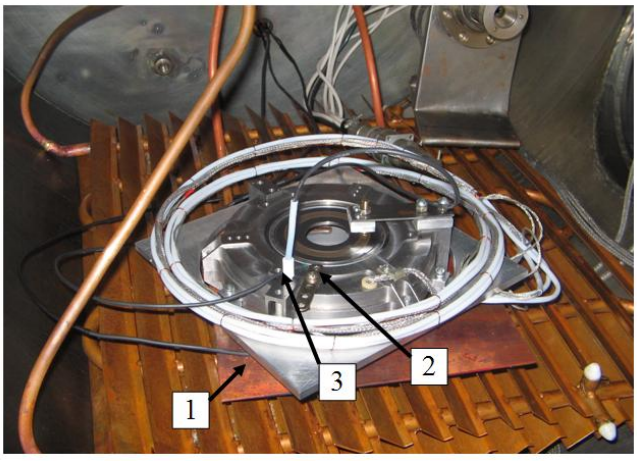


Рисунок 1 – Криоплатформа с двигателем

Подшипники двигателя смазаны консистентной смазкой типа ВНИИНП-281 (ТУ 38.10123-81) с вязкостью при 220 К не более 1500 Па·с.

Энергопотребление двигателя (пусковой и номинальный токи) контролировались при помощи амперметра, встроенного в корпус блока питания, который обеспечивает работу двигателя и электронного блока управления, показывающего общее потребление тока.

Результаты исследований и их обсуждение

С целью определения влияния вакуума, нагрузки и температуры окружающей среды на пусковые характеристики высокомоментного электрического двигателя проведено 4 испытания, которые описаны в таблице.

Результаты триботехнического испытания № 1 представлены на рисунках 2, 3.

В процессе работы двигателя его температура монотонно возрастала. Наибольший градиент температуры отмечается вблизи подшипника и статора (рисунок 2). Это связано с наличием трибоконтакта в системе статор-подшипник-ротор и протеканием электрического тока по катушкам статора. Пусковой ток с 1,8 А снижается до 1 А (рисунок 3) при выходе на рабочий (номинальный) режим (частота вращения 1000 мин$^{-1}$).

На рисунках 4, 5 приведены результаты испытания № 2.

Таблица – Режимы испытаний в зависимости от давления (P) в вакуумной камере, нагрузки (N) и температуры (T) корпуса двигателя

№ испытания	$P_{запуска}$, Па	$P_{рабочее}$, Па	N, Н	$T_{запуска}$, К	$T_{рабочая}$, К
1	$1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	0	280	300
2	$1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	5	280	320
3	$1\cdot10^{-3}$	$2{,}6\cdot10^{-4}$	0	300	200
4	$6{,}6\cdot10^{-5}$	$6{,}6\cdot10^{-5}$	0	140	140

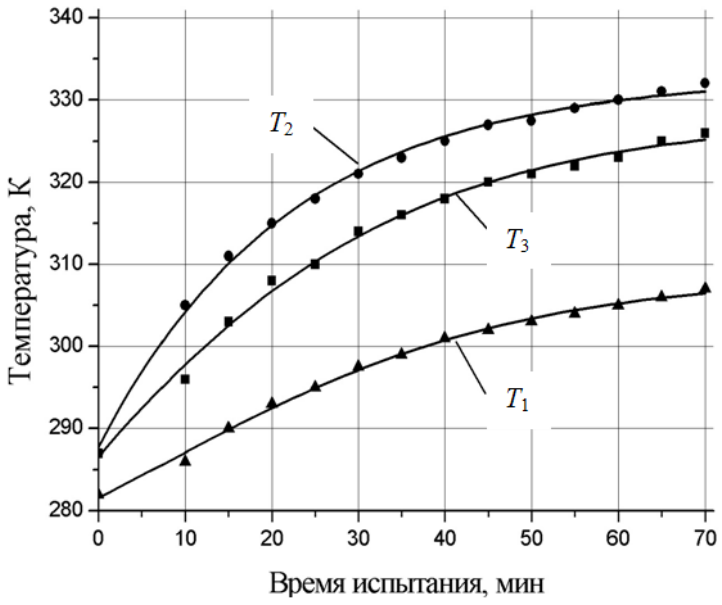


Рисунок 2 – Зависимость температуры корпуса двигателя (T_1), подшипника (T_2) и обмотки статора (T_3) от времени испытания № 1

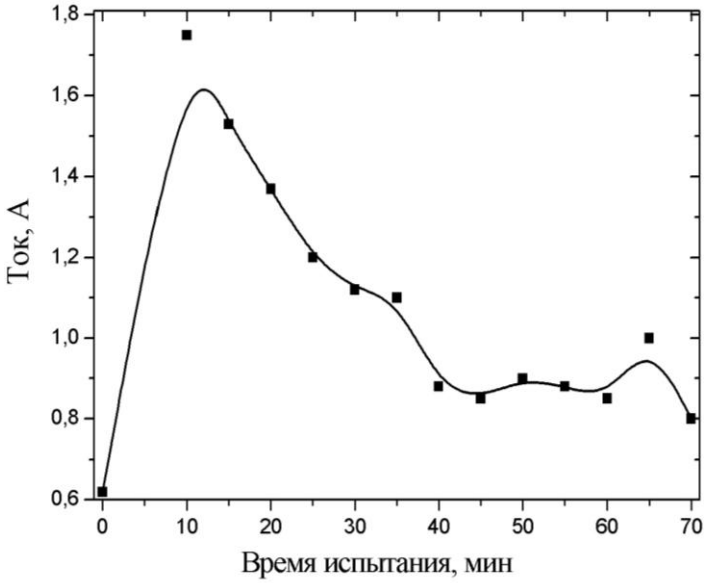


Рисунок 3 – Зависимость потребления тока от времени испытания № 1

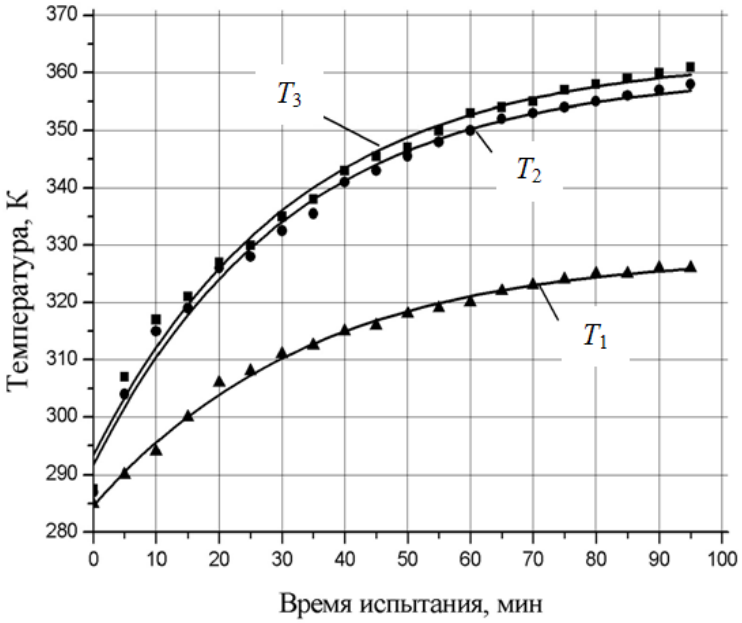


Рисунок 4 – Зависимость температуры корпуса двигателя (T_1), подшипника (T_2) и обмотки статора (T_3) от времени испытания № 2

Анализируя рисунки 3 и 5 необходимо отметить, что даже малая нагрузка на ротор (N = = 5 Н) способствует увеличению температуры обмоток статора и подшипника в среднем на 20 К по сравнению с холостым ходом (таблица). Это связано с тем, что в вакууме тепло передается только в виде излучения, поэтому нет эффективного метода охлаждения нагруженного двигателя.

Данные, представленные на рисунке 5, демонстрируют увеличение пускового тока в 2 раза при запуске нагруженного двигателя. Однако в рабочем режиме установившегося вращения ток питания находится в пределах 1,2–1,3 А.

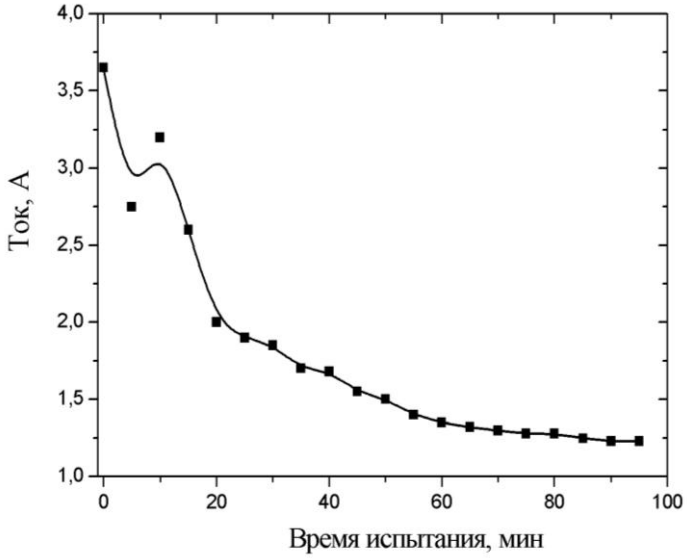


Рисунок 5 – Зависимость потребления тока от времени испытания № 2

Результаты тритобехнического испытания № 3 представлены на рисунках 6, 7.

Запуск двигателя и подача жидкого азота в криоплатформу происходила одновременно. Следует отметить, что охлаждение способствовало улучшению вакуума в камере до значения $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ Па (см. таблицу) за счет адсорбции остаточных газов на криоплатформу.

За 10 мин двигатель вышел на рабочий режим холостого хода. За это же время температура его корпуса снизилась до 180 К (рисунок 6) после чего стабилизировалась на значении порядка 200 К. Это связано с уравновешиванием процессов охлаждения нижней части корпуса двигателя и нагревом верхней и внутренней частей, в которых находятся подшипник и обмотки статора. С 30-й минуты испытания процесс охлаждения двигателя начинает преобладать, что приводит к монотонному снижению температуры в области подшипника и обмоток статора (рисунок 6).

Рисунок 7 демонстрирует повышение тока питания двигателя с увеличением времени испытания и снижением температуры подшипника (рисунок 6), что указывает на схватывание в подшипнике за счет повышения вязкости консистентной смазки.

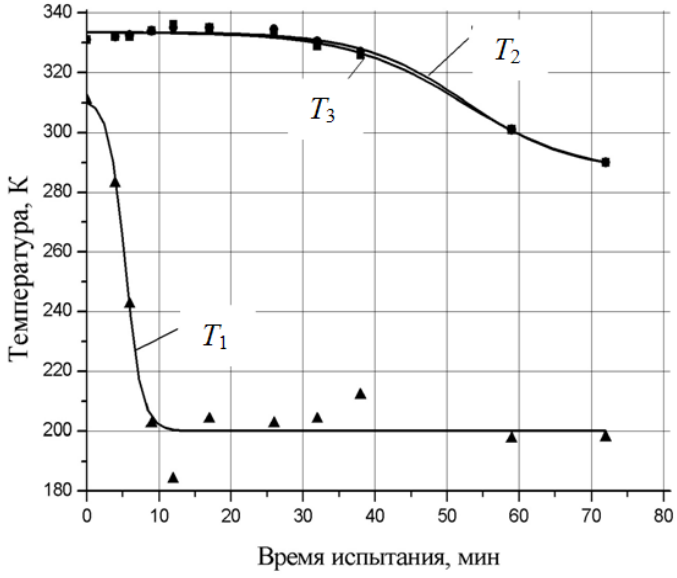


Рисунок 6 – Зависимость температуры корпуса двигателя (T_1), подшипника (T_2) и обмотки статора (T_3) от времени испытания № 3

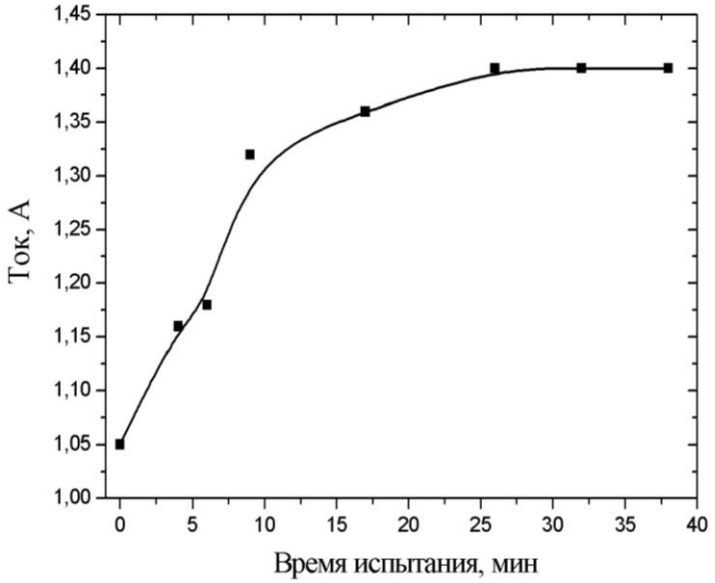


Рисунок 7 – Зависимость потребления тока от времени испытания № 3

На рисунках 8, 9 представлены результаты испытания № 4. Испытание началось с охлаждения двигателя до максимально возможных температур, а со 150-й минуты были предприняты попытки запуска двигателя.

Установлено, что запуск двигателя с температурой на его корпусе 140 К невозможен. Температура подшипника и обмотки статора составляла на момент запуска 235 К (рисунок 8), а величина пускового тока доходила до 7 А, однако это не позволяло увеличить частоту вращения двигателя свыше 100 мин$^{-1}$.

Было предпринято 4 запуска двигателя подряд с тем же результатом. На рисунке 8 видно, что частый пуск двигателя с высоким пусковым током приводит к существенному увеличению его температуры.

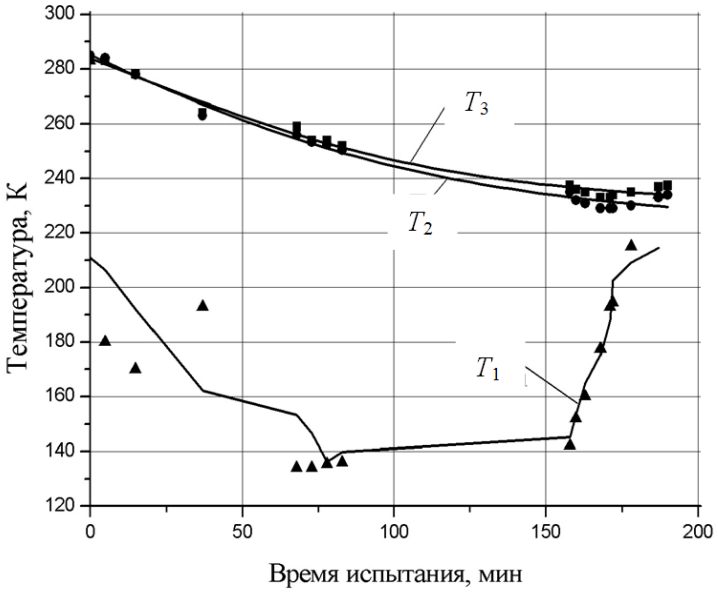


Рисунок 8 – Зависимость температуры корпуса двигателя (T_1), подшипника (T_2) и обмотки статора (T_3) от времени испытания № 4

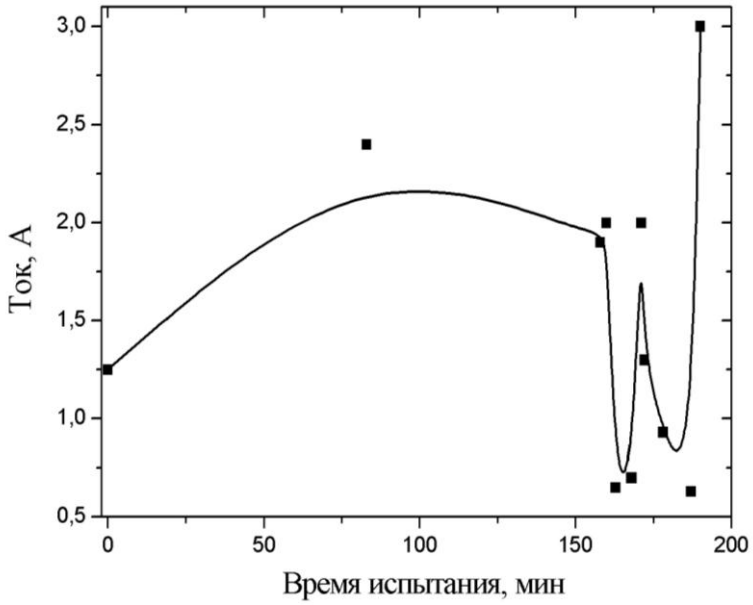


Рисунок 9 – Зависимость потребляемого тока от времени испытания № 4

Заключение

Установлено, что при эксплуатации электродвигателя в условиях низких температур в вакууме происходит нарушение штатных режимов работы, выражающееся в увеличении тока потребления и остановках.

Выявлено, что нарушение режима работы высокомоментного электодвигателя при низких температурах в вакууме вызвано эффектом подклинивания шариков подшипника, обусловленного увеличением вязкости смазки.

Работа выполнена в рамках программы Союзного государства «Космос-НТ», мероприятие 3.3 «Создание и экспериментальная отработка новых приборов, материалов и базовых технологий, унифицированных схемотехнических решений, разработка и создание оборудования обеспечения движения и функционирования перспективного микроспутника».

Список использованных источников

1. *Шарп, М.Р.* Человек в космосе / М.Р. Шарп // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://www.astronaut.ru/bookcase/books/sharp01/text/12.htm?reload_coolmenus. – Дата доступа : 16.06.2011.
2. *Reed, R.D.* Wingless Flight. The Lifting Body Story / R.D. Reed // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://spacebook.narod.ru/books/sp4220.exe. – Дата доступа : 16.06.2011.
3. *Каманин, Н.П.* Скрытый космос. Книга 4. / Н.П. Каманин // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://www.astronaut.ru/bookcase/books/kamanin4 / kamanin.htm. – Дата доступа : 16.06.2011.
4. *Бубнов, И. Я.* Орбитальные космические станции / И. Я. Бубнов, Л.Н Каманин // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://www.astronaut.ru/bookcase/books/kamanin5/kamanin5.htm. – Дата доступа : 16.06.2011.
5. *Афанасьев, И.Б.* «Большой космический клуб» / И.Б. Афанасьев, А.Н. Лавренов // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://www.astronaut.ru/bookcase/books/afanasiev3/afanasiev3.htm. – Дата доступа : 16.06.2011.
6. *Баевский, А.В.* Космические автоматические аппараты США для изучения Луны и окололунного пространства (1958–1968) / А.В. Баевский // Космическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://www.astronaut.ru/bookcase/books/bav/bav.htm. – Дата доступа : 16.06.2011.
7. *Мышкин, Н.К.* Результаты разработок по триботехнике в белорусской части космической программы союзного государства / Н.К. Мышкин [и др.] // Сб. трудов 6-й МНТК, Минск, 14–16 сентября 2011 г. – Т. 3. – С. 248–259.

Byeli A.V., Karpovich A.N., Bilenko E.G.

Diagnostics of the high-torque electrical motor under operating conditions at low temperatures in vacuum

Parameters of high-moment electrical motor working at low-temperatures and high vacuum were investigated. It has been demonstrated that pressure in conspiracy with temperature does not influence starting current of the motor. Temperature reduction from 293 up to 143 K increases starting current at a factor of 3.5. (E-mail: vmo@tut.by)

Key Words: high-moment electrical motor, imitation of space.

Поступила в редакцию 17.10.2011.