

```
[t,y] = ode15s(@fII, [t(end) t_final], y(end,:), optionsII, ...
A, q_iScaled, v_0, V, U_s, L, C_ep, d, M_iScaled, eps_0);
function dydt = fII(t, y, A, qi, v_0, V, Us, L, C_ep, M_i)
dydt(1,1) = -y(4)/(qi*V); % (Концентрация ионов)'
dydt(2,1) = (y(3) - y(4))/C_ep; % (Напряжение)'
dydt(3,1) = (Us - y(2))/L; % (Ток контура)'
dydt(4,1) = y(4) - A*qi*y(1)*v_0; % (Ток выключателя)'
dydt(5,1) = y(5) - (M_i/(2*qi))^(1/2)*v_0; % (Напряжение)'
dydt(6,1) = 0; % (Напряженность поля)'
dydt(7,1) = 0; % (Толщина слоя ионного заряда)'
```

Рис. 1. Пример кода на языке MATLAB для фазы II (аналогично для оставшихся фаз)

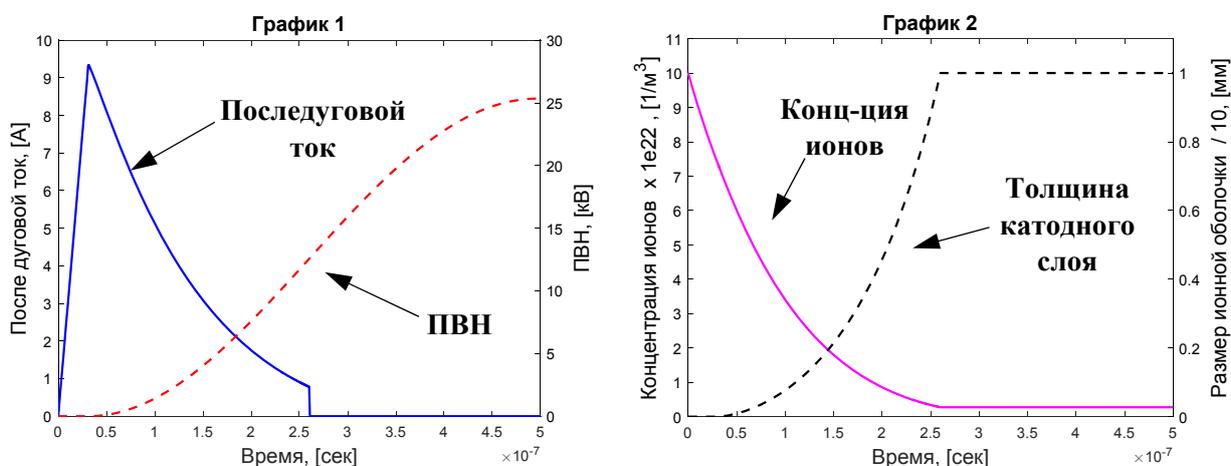


Рис. 2. График 1: Синяя линия – последуговой ток выключателя, красная пунктирная линия – переходное восстанавливающееся напряжение; График 2: Фиолетовая линия – концентрация ионов, черная пунктирная линия – размер ионной оболочки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrews J.G., Varey R.H. Sheath growth in a Low Pressure Plasma // The Physics of Fluids – 1970. – V. 14. – No. 2. – P. 339–343.
2. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.: ил.;
3. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ВАКУУМЕ

В.П. Здорникова

Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5АМЗЗ

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Бортовая кабельная сеть (БКС), входящая в состав космического аппарата (КА), объединяет в единую систему бортовую аппаратуру с целью обеспечения электрической связи. Срок активного существования КА напрямую связан со сроком службы БКС [1].

Надежность БКС определяется, главным образом, надежностью изоляции. К внешним воздействующим факторам, оказывающим влияние на КА, относятся: космическая радиация, вакуум, невесомость, температура, атомарный кислород и т. д.

Среди нагрузок, воздействующих на изоляцию в процессе эксплуатации наиболее выраженное действие оказывает температура. Перегревы (даже локальные) приводят к резкому снижению срока службы и ухудшению эксплуатационных свойств бортовой кабельной сети, поскольку в условиях космоса отсутствует теплопроводность и конвекционный теплообмен [5]. В связи с этим на стадии проектирования важно определить реальную температуру элементов конструкции кабельных изделий (КИ). При эксплуатации (в рабочем состоянии) температура КИ $T_{КИ}$ определяется номинальным значением тока $I_{ном}$.

Способы определения температурного состояния ТПЖ включают в себя как экспериментальный подход, так и методы цифрового моделирования.

Рабочая температура токопроводящей жилы $T_{ТПЖ}$ экспериментально определяется с использованием термовакуумной установки, которая имитирует условия эксплуатации космического аппарата [2].

Оценка теплового состояния токопроводящей жилы при помощи цифрового моделирования осуществляется с использованием программной среды *Comsol Multiphysics* [4].

Результаты определения температуры образца ТПЖ, полученной с помощью цифровой модели и в ходе эксперимента, при различных значениях тока приведены в табл. 1. Графическая интерпретация результатов представлена на рис. 1.

Таблица 1. Температура образца ТПЖ, определенная с помощью цифровой модели и в ходе эксперимента

Значение тока, А	Температура ТПЖ, К		
	Цифровая модель	Эксперимент	
		Термопара	Тепловизор
0	293	293	293
25	295,84	293	294
50	304,48	294	295,6
75	318,82	314	313,3
100	338,91	332	335,3
125	364,83	351	356,2
150	396,43	393	396
175	433,78	424	427,8
200	476,88	464	467,5
225	522,72	522	526,1

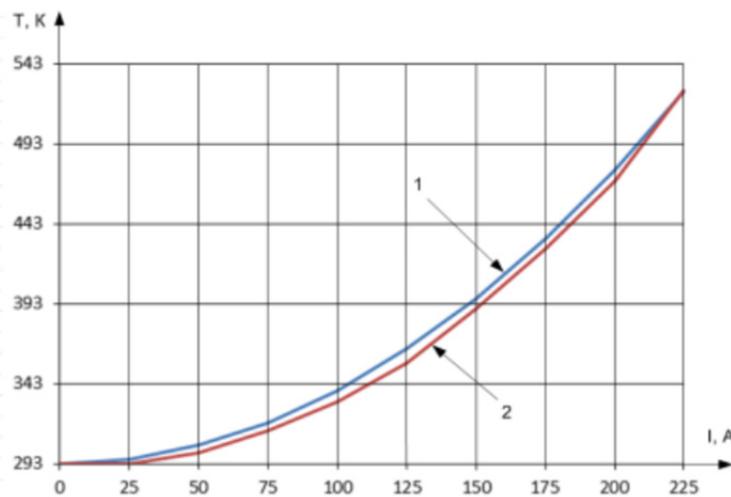


Рис. 1. Температура токоведущего элемента по результатам моделирования (1) и эксперимента (2)

Расхождение результатов моделирования и эксперимента не более 3 %.

Работа продолжает цикл исследований, проводимых совместно с АО «Информационные спутниковые системы» им. М.Ф. Решетнева.

На основе ранее проведенных научных исследований выделены следующие результаты [3]:

- отработана методика измерения удельного объемного сопротивления изолированных токопроводящих жил при создании вакуума;
- разработана базовая цифровая модель токопроводящей жилы с использованием программной среды *Comsol Multiphysics*, учитывающая токовый нагрев и теплообмен с окружающей средой;
- проведена оценка изменения электрического сопротивления физических моделей элементов бортовой кабельной сети;
- разработана методика испытаний кабельных изделий с учетом токового нагрева ТПЖ;
- проведена экспериментальная проверка адекватности цифрового двойника токопроводящей жилы с расхождением не более 3 %;
- сформулированы рекомендации по экспериментальному определению степени нагрева ТПЖ при давлении до 10^{-7} атм;
- оценено тепловое состояние под воздействием токовых нагрузок на реальных образцах, используемых в БКС.

Полученные рекомендации, подходы и цифровые модели кабельных изделий станут отправной точкой для дальнейшей научно-исследовательской деятельности. В будущем предполагается использовать их в качестве базы для проведения научных исследований.

Планируется оценить тепловое состояние:

- токопроводящей жилы из различных металлов;
- новых конструкций БК и проводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абламейко С.В., Саечников В.А., Спиридонов А.А. Малые космические аппараты. – 2012.
2. Хафизов Д.Е., Казанцев В.В., Ефремов С.В. Моделирование перспективных конструкций элементов бортовой кабельной сети космического аппарата // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября–4 декабря 2020. – Новосибирск: НГТУ, 2020 – Т. 9 – С. 113–115.
3. Хафизов Д.Е., Казанцев В.В. Определение электрофизических параметров БКС с учетом внешних воздействующих факторов // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: материалы XXI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием), Рубцовск, 25–26 Апреля 2019. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2019 – С. 270–273.
4. Базовая платформа: Comsol Multiphysics® [Электронный ресурс] URL: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics> (дата обращения: 13.11.2023)
5. ОКБ КП // Основное конструкторское бюро кабельной промышленности [Электронный ресурс] URL: <http://www.okbkr.ru/production/cabels/bort/> (дата обращения: 13.11.2023).