А. А. Трофимов, Д. А. Рязанцев, Р. М. Тимонин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

A. A. Trofimov, D. A. Ryazantsev, R. M. Timonin

MODELING OF THE INFLUENCE OF THE LOWERED PRESSURE ON SENSOR OF THE LINEAR DISPLACEMENT

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Целью работы является определение работоспособности датчика линейных перемещений в условиях воздействия пониженного давления методом имитационного моделирования тепловых процессов и экспериментальным определением дополнительной погрешности от воздействия пониженного давления. *Материалы и методы.* Проведено моделирование тепловой модели нагрева элементов конструкции датчика от рассеиваемой мощности электрорадиоизделий. Выполнено экспериментальное подтверждение результатов моделирования с последующей оценкой работоспособности датчика в условиях воздействия пониженного давления по значению дополнительной погрешности. *Результаты.* Приведены результаты расчетов рассеиваемой мощности электрорадиоизделий и показано моделирование тепловых полей при воздействии пониженного давления на датчик линейных перемещений. Разработана 3D-модель датчика. Экспериментально подтверждена правильность конструктивных решений датчика. Определена дополнительная погрешность датчика от воздействия пониженного давления. *Выводы.* Результаты моделирования и экспериментов подтвердили работоспособность исследуемого датчика в условиях воздействия пониженного давления.

A b s t r a c t. *Background*. The purpose of the work is a determination to capacity to work of the sensor of the linear displacement working in condition of the lowered pressure by way of modeling of the heat processes and experimental determination to additional inaccuracy from influence of the lowered pressure. *Materials and methods*. Organized modeling in the manner of heat model of the heating element to designs of the sensor from diffused powers of electronic components. The Executed piece of evidence result modeling and estimation to capacity to work of the sensor in condition of the influence of the lowered pressure on importance of additional inaccuracy. *Results*. The brought results calculation diffused powers electronic components and modeling by heat flap at influence of the lowered pressure on sensor of the linear displacement. 3D-model of the sensor is designed. Experimental is confirmed correctness of the constructive decisions of the sensor. Additional inaccuracy of the sensor is determined from influence of the lowered pressure. *Conclusions*. The results of modeling and experiment have confirmed capacity to work of the sensor in condition of the sensor in condition of the influence of the lowered pressure of sensor is designed. Experimental is confirmed correctness of the constructive decisions of the sensor. Additional inaccuracy of the sensor is determined from influence of the lowered pressure. *Conclusions*. The results of modeling and experiment have confirmed capacity to work of the sensor in condition of the influence of the lowered pressure.

К л ю ч е в ы е с л о в а: датчик линейных перемещений, рассеиваемая мощность, тепловая модель датчика, имитационное моделирование, пониженное давление.

K e y w o r d s: sensor of the linear displacement, diffused power, heat model of sensor, simulation modeling, lowered pressure.

Введение

Эффективность систем управления сложными объектами во многом зависит от первичных средств измерения (датчиков). Значительный объем среди них занимают датчики линейных перемещений (ДЛП) [1]. В системах управления ДЛП применяются для определения положений подвижных объектов, кинематических звеньев механических и гидравлических приводов и т.д. При разработке ДЛП следует обращать внимание на работоспособность разрабатываемого датчика в конкретных условиях применения.

Среди основных требований, которые предъявляются к ДЛП, выделяют требование по устойчивости к внешним воздействующим факторам, одним из которых является пониженное давление. Требование по устойчивости к воздействию пониженного давления предъявляется в первую очередь к аппаратуре, применяемой в авиационной и космической отраслях.

При эксплуатации ДЛП в условиях пониженного давления постоянно возникает задача отвода тепла от тепловыделяющих элементов и определения их максимальной температуры. Одними из таких элементов являются электрорадиоизделия (ЭРИ), которые выделяют тепловую энергию, равную рассеиваемой мощности ЭРИ в единицу времени.

Тепловая энергия от ЭРИ распространятся посредством излучения во внешнюю среду и за счет теплопроводности и естественной конвекции. Для бортовой аппаратуры теплообмен в основном происходит за счет теплопроводности [2]. Это вызвано тем, что излучение во внешнюю среду эффективно при высоких температурах более 100–150 °C, а конвективный перенос внутри блока затруднен из-за отсутствия естественной конвекции в условиях пониженного давления. Проверка правильности выбранных конструктивных решений, влияющих на работоспособность аппаратуры в условиях пониженного давления, является актуальной проблемой.

Основная часть

Для подтверждения правильности выбранных конструктивных решений и проверки соблюдения тепловых режимов эксплуатации ЭРИ, влияющих на работоспособность разрабатываемого ДЛП в условиях пониженного давления, выполнен расчет рассеиваемой мощности ЭРИ датчика и проведено имитационное моделирование тепловых потоков, возникающих при его работе.

Конструкция ДЛП в виде 3D-модели представлена на рис. 1, а принцип работы описан в [3]. По условиям эксплуатации ДЛП должен непрерывно работать в течение 7200 с в условиях пониженного давления 1,33·10⁻⁴ Па.



Рис. 1. 3D-модель ДЛП: *1* – приспособление для задания перемещений; *2* – чувствительный элемент; *3* – платы с ЭРИ; *4* – радиатор; *5* – разъем ДЛП; *6* – корпус

ДЛП имеет конструкцию со встроенной электроникой, которая требует расчета тепловых режимов в зависимости от рассеиваемой мощности ЭРИ, находящихся под максимальной электрической нагрузкой. В ДЛП таковыми являются микросхемы линейных интегральных

Measuring. Monitoring. Management. Control

стабилизаторов напряжения, располагающиеся на плате блока питания. Для линейных интегральных стабилизаторов напряжения рассеиваемая мощность рассчитывается по формуле [4]:

$$P_{\text{pac}} = (U_{\text{gon}} - U_{\text{BbIX}})I_{\text{gon}} + U_{\text{gon}}I_{\Pi}, \qquad (1)$$

где P_{pac} – мощность рассеивания; $U_{\text{доп}}$ – максимальное (допустимое) входное напряжение; $U_{\text{BЫХ}}$ – выходное напряжение; $I_{\text{доп}}$ – максимальный (допустимый) ток нагрузки; I_{Π} – ток потребления.

В блоке питания ДЛП расположены два стабилизатора напряжения 142EH12 и 142EH5A, которые преобразуют напряжение (±27) В в напряжение (±5) В и (±15) В. Полученные в результате расчетов значения рассеиваемой мощности для стабилизаторов напряжения в соответствии с режимами их эксплуатации и техническими условиями [5, 6] приведены ниже.

Для стабилизатора 142EH12 рассеиваемая мощность при $U_{\text{доп}} = 28,5$ B, $U_{\text{BbIX}} = 17,5$ B,

 $I_{\text{доп}} = 0,08$ A, $I_{\Pi} = 0,1$ A равна $P_{\text{рас}} = 3,73$ Вт. Для стабилизатора 142ЕН5А рассеиваемая мощность при $U_{\text{доп}} = 9$ B, $U_{\text{BbIX}} = 5$ B,

 $I_{\text{доп}} = 0,005$ А, $I_{\Pi} = 0,01$ А равна $P_{\text{рас}} = 0,11$ Вт.

Рассчитанные значения рассеиваемой мощности не превышают значения, допустимые техническими условиями на них (по ТУ максимально допустимая рассеиваемая мощность микросхем 142EH12 и 142EH5A равна 9 Вт), следовательно, электрические режимы работы ЭРИ ДЛП соблюдаются.

Даже при соблюдении электрических режимов работы ЭРИ в условиях пониженного давления может возникнуть ситуация, когда выделяемая ЭРИ тепловая энергия приведет к выходу ДЛП из строя. Такая ситуация может потребовать обеспечения дополнительного теплоотвода, поэтому конструкцией датчика, показанной на рис. 1, предусмотрен радиатор 4, который обеспечивает отвод тепла со стабилизатора напряжения 142EH12.

Для определения соответствия температурных режимов эксплуатации ЭРИ в ДЛП температурным режимам ЭРИ, допускаемыми техническими условиями на них, проведено имитационное моделирование тепловых режимов работы ДЛП в условиях пониженного давления с помощью программного обеспечения Solidworks и модуля FlowSimulation [7].

Для имитации работы ДЛП была создана 3D-модель ДЛП с приспособлением для задания перемещения, представленная на рис. 1. Имитационное моделирование проводилось исходя из условий эксплуатации датчика и крепления его на объекте. Начальная температура корпуса и элементов ДЛП принята равной 20 °C. Моделирование проводилось при отсутствии естественной конвекции [8], что имитирует работу ДЛП при пониженном давлении.

На рис. 2 представлена тепловая модель ДЛП в условиях пониженного давления $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па за время непрерывной работы 7200 с. Максимальную температуру 99,3 °С имеет микросхема стабилизатора напряжения 142ЕН12, установленная на плате *3в* (рис. 1). Техническими условиями допускается работа микросхемы 142ЕН12 при температуре до 125 °C.



Время = 7200 s

Рис. 2. Распределение температуры внутри ДЛП при воздействии пониженного давления

Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль

Тепловые модели плат 36 и 36 (рис. 1) представлены на рис. 3. На плате 36 установлена микросхема 142EH5A, которая разогревается максимально до 56 °C, что не приведет к отказу ДЛП и соответственно не требует введения дополнительного теплоотвода, так как предел рабочей температуры микросхемы 142EH5A равен 125 °C.



Рис. 3. Тепловая модель плат Зв и Зб ДЛП при работе в условиях пониженного давления

На рис. 4 показано, как разогревалась микросхема 142ЕН12 за 7200 с при работе в условиях пониженного давления. Из рис. 4 следует, что тепловой баланс достигается при значении температуры 99,3 °С между 4600 и 6000 с работы ДЛП.



при работе в условиях пониженного давления

Для подтверждения правильности полученных результатов имитационного моделирования проведена проверка работоспособности ДЛП в условиях пониженного давления. Оценка проведена экспериментально путем определения дополнительной погрешности ДЛП, которая при пониженном давлении в значительной степени определяется температурой.

При проведении эксперимента ДЛП с приспособлением для задания перемещения был помещен в вакуумную установку УРМ-3 и подключен к приборам согласно схеме, представленной на рис. 5. После набора в камере установки значения пониженного давления 1,33·10⁻⁴ Па

Measuring. Monitoring. Management. Control

было включено питание датчика. ДЛП во включенном состоянии находился в камере в течение 2 ч, при этом проводился контроль выходного сигнала от перемещения.





Проведено три цикла испытаний по описанной выше методике. Экспериментально полученные значения выходного сигнала с ДЛП представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выходной сигнал ДЛП

Значение влияющей величины	Значение измеряемой величины	Номер цикла		
		1	2	3
		Выходной сигнал, В		
Давление, Па (мм рт.ст.)	Перемещение, мм	U_1	U_2	U_3
от 8,6·10 ⁴ до 10,6·10 ⁴	2,5	3	3	3
1,33.10-4	2,5	2,967	2,968	2,968

Эти данные позволяют рассчитать величину погрешности у в интервале изменения влияющей величины [9].

Среднее значение выходного сигнала при нормальном давлении определяется как

$$U_{\rm CPHOPM} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}.$$
 (2)

Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль

Среднее значение выходного сигнала при пониженном давлении определяется как

$$U_{\rm CPIIOHUX} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}.$$
 (3)

Значение дополнительной погрешности от воздействия пониженного давления определяется выражением

$$\gamma_{\rm ДP} = \pm \frac{|U_{\rm CPHOHUX} - U_{\rm CPHOPM}|}{N} 100\%, \qquad (4)$$

где N – значение нормирующей величины, равное 6 В.

В соответствии с формулами (2)–(4) дополнительная погрешность от воздействия пониженного давления составит $\gamma_{IIP} = \pm 0,544$ %.

Заключение

ДЛП по результатам эксперимента выдержал испытание на воздействие пониженного давления, при этом дополнительная погрешность составила $\pm 0,544 \%$ [10], что говорит о его работоспособности в условиях пониженного давления $1,3\cdot10^{-4}$ Па. Полученные экспериментальные данные и результаты моделирования подтверждают правильность выбранных конструктивных решений, обеспечивающих его работоспособность в условиях воздействия пониженного давления.

Таким образом, подтверждена возможность определения работоспособности ДЛП в условиях воздействия пониженного давления моделированием тепловых потоков в зависимости от рассеиваемой мощности тепловыделяющих элементов с применением программного обеспечения Solidworks и модуля FlowSimulation.

Библиографический список

- 1. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник : пер. с англ. / Дж. Фрайден. М. : Техносфера, 2005. 588 с.
- 2. Фаворский, О. Н. Вопросы теплообмена в космосе / О. Н. Фаворский. М. : Выс. шк., 1972. 280 с.
- Рязанцев, Д. А. Датчик линейных перемещений для систем измерения ракетнокосмической техники / Д. А. Рязанцев, А. А. Трофимов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 42–48.
- Хорловиц, П. Искусство схемотехники : пер. с англ. / П. Хорловиц. М. : МИР, 1998. 704 с.
- 5. Технические условия бКО.347.098 ТУЗ П0.070.052 на микросхему ОСМ 142EH5А. 38 с.
- 6. Технические условия бКО.347.098 11ТУ П0.070.052 на микросхему ОСМ 142EH12. 43 с.
- Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation / А. А. Алямовский. М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
- Исаченко, В. П. Теплопередача : учеб. для вузов / В. П. Исаченко. 3-е изд. М. : Энергия, 1975. – 487 с.
- Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Е. П. Осадчий. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с.
- Трофимов, А. А. Методическая погрешность расчета магнитных потоков трансформаторных датчиков перемещений / А. А. Трофимов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4 (6). – С. 9–15.

Трофимов Алексей Анатольевич

доктор технических наук, профессор, кафедра информационно-измерительной техники и метрологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40) E-mail: iit@pnzgu.ru

Trofimov Aleksei Anatol'evich

doctor of technical science, professor, sub-department of information and measuring equipment and metrology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Measuring. Monitoring. Management. Control

2017, № 3 (21)

Рязанцев Дмитрий Андреевич

инженер-конструктор, Научно-исследовательский институт физических измерений (Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10) E-mail: nik2@niifi.ru

Тимонин Роман Михайлович

инженер-конструктор, Научно-исследовательский институт физических измерений (Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10) E-mail: rmt@niifi.ru

Ryazantsev Dmitriy Andreevich

design engineer, Scientific-research Institute of physical measurements (8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Timonin Roman Mikhailovich

design engineer, Scientific-research Institute of physical measurements (8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

УДК 53.072.8

Трофимов, А. А.

Моделирование воздействия пониженного давления на датчик линейных перемещений / А. А. Трофимов, Д. А. Рязанцев, Р. М. Тимонин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 67–73. DOI 10.21685/2307-5538-2017-3-10.