

УДК 536.2: 519.6

*Бреславский Д.В., д-р техн. наук; Погорелов С.Ю., канд. техн. наук;
Счастливец К.Ю., Батырев Б.И., Кузнецов Ю.А., канд. техн. наук; Олейник С.В.*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАДИЕНТОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ОИУС501

Актуальность темы. В последнее время в современной авиационно-космической технике широко используются бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе новых, волоконно-оптических гироскопов (ВОГ). Внедрение этих систем требует выполнения широкого цикла исследований, направленных на выявления пределов применимости, точности, надежности и других их эксплуатационных характеристик. Данная статья посвящена решению одного из подобных вопросов — разработке методики определения изменения температуры, происходящего при работе ВОГ. Полученные при этом закономерности используются при тарировке приборов. В связи с высокой чувствительностью ВОГ задача точного определения значений температуры внутри приборов, а также ее изменения с течением времени, является актуальной и практически важной.

Постановка проблемы. В рамках выполнения совместной научно-исследовательской работы НТУ «ХПИ» и «ХАРТРОН-АРКОС» по созданию бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИБ(БАИБ) на основе волоконно-оптических гироскопов ОИУС501 производства ООО НПК «Оптолинк» (Зеленоград, Россия), была сформулирована задача создания методики определения температурных дрейфов для ВОГ.

В настоящее время с целью повышения точности измерения угловой скорости волоконно-оптическими и лазерными гироскопами используется подход, основанный на постобработке измерений угловой скорости согласно алгоритмической модели, называемой температурной моделью ошибок измерения. В настоящее время широкое распространение получило использование модели зависимости ошибок измерения (дрейфов) волоконно-оптического гироскопа в виде полинома третьей степени [1]:

$$\begin{aligned}\Omega(\tau, \Delta\tau) = & K00 + K10 \cdot \tau + K20 \cdot \tau^2 + K30 \cdot \tau^3 + \\ & + K01 \cdot \Delta\tau + K02 \cdot \Delta\tau^2 + K03 \cdot \Delta\tau^3 + \\ & + K11 \cdot \tau \cdot \Delta\tau + K21 \cdot \tau^2 \cdot \Delta\tau + K31 \cdot \tau^3 \cdot \Delta\tau,\end{aligned}$$

где: $K00, K10, K20, K30, K01, K02, K03, K11, K21, K31$ – параметры модели, определяемые в ходе паспортизации прибора; τ - температура; $\Delta\tau$ - временной температурный градиент.

При реализации данного подхода в устройствах измерения угловой скорости возникает проблема измерения температурного градиента. Практически температурный градиент в заданной точке исследуемого объекта может быть измерен двумя способами:

1. путём численного дифференцирования по времени показаний температурного датчика в заданной точке;
2. путём вычисления разности между показаниями температурного датчика в заданной точке и температурного датчика, находящегося в другой точке того же объекта.

Первая методика требует более дорогостоящего и сложного аппаратного обеспечения, так как предполагает наличие не только датчика температуры, но и датчика временных интервалов, поэтому с этой точки зрения предпочтительнее использовать вторую методику. В данной работе проводится сравнительное исследование двух вышеперечисленных методик измерения температурного градиента ВОГ ОИУС501, а также проводится выбор мест расположения датчиков при применении разностной методики измерения градиентов.

Математическая постановка задачи. Рассмотрим трехмерное тело, занимающее объем Ω с границей области Γ . Тело подвержено воздействию тепловых потоков $q(x,y,z,t)$, также внутри тела могут наличествовать внутренние тепловые источники, плотность которых обозначим $Q(x,y,z,t)$. Обозначим функцию распределения температуры внутри области Ω как $\varphi=\varphi(x, y, z, t)$ – функцию координат и времени.

Для определения неизвестного распределения температур $\varphi(x, y, z, t)$ необходимо решить дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности [2]:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial \varphi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial \varphi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial \varphi}{\partial z}\right) + Q - \rho c \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопроводности материала; c – удельная теплоемкость материала; ρ – плотность материала.

Как обычно, для однозначности решения дифференциального уравнения (1), к нему должны быть добавлены краевые и начальные условия [2, 3].

В качестве начальных условий обычно задаются исходные распределения температуры φ по объему Ω .

$$\varphi(x, y, z, 0) = \bar{\varphi}(x, y, z) \text{ в } \Omega \quad (2)$$

В качестве краевых условий рассматриваются следующие:

1. Заданные значения теплового потока на части поверхности тела Γ_q (условие 2-го рода):

$$\left. -k \frac{\partial \varphi(x, y, z, t)}{\partial n} \right|_{\Gamma_q} = \bar{q}_n, \quad (3)$$

где n – нормаль к поверхности тела Γ .

2. Теплообмен по закону Ньютона:

$$\left. \frac{\partial \varphi(x, y, z, t)}{\partial x} \right|_{\Gamma_N} = -\alpha(\varphi(x, y, z, t) - \theta(t)) \quad (4)$$

где α – коэффициент теплообмена, $\theta(t)$ – известная температура окружающей среды.

Описание расчётной модели ВОГ. В работе создана модель ВОГ с упрощённой внутренней структурой, позволяющая не принимать во внимание несущественные конструктивные особенности, не влияющие на процессы теплопроводности. Модель состоит из основания, катушки и крышки (рис. 1).

В качестве поверхностей, для которых установлены краевые условия второго рода, была принята внешняя поверхность катушки в предположении, что в катушке кабеля имеют место потери энергии, а также установочная поверхность многофункционального интегрального оптического элемента «ЛазерТелам» в предположении, что данный элемент является основным источником энергии для ВОГ.

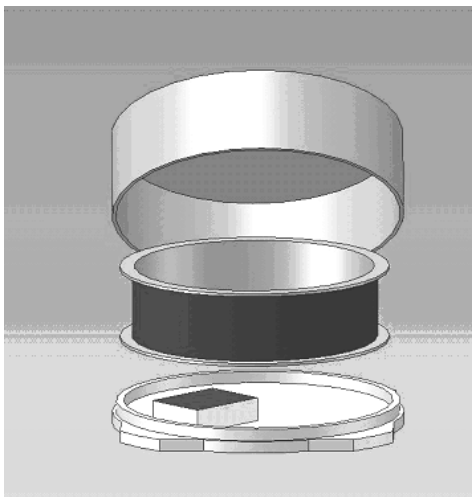


Рис.1. Упрощенная модель ВОГ

Суммарная мощность потребления ВОГ согласно конструкторской документации и проведённым измерениям энергопотребления в заданных условиях эксплуатации была принята 1.8 Вт. Данная суммарная мощность была в первом приближении распределена в следующих пропорциях: 1.2 Вт на установочной поверхности элемента «ЛазерТелам» и 0.6 Вт на внешней поверхности катушки. Использовалось предположение, что основное выделение энергии происходит на основании ВОГ в электронных и оптических элементах, а остальная часть выделяется в катушке в виде потерь. В качестве модели теплообмена между элементами ВОГ был принят теплообмен путём теплопередачи в предположении малости величины теплообмена конвекцией и излучением.

В качестве материала всех элементов модели ВОГ был принят алюминиевый сплав со следующими теплофизическими характеристиками [4]:

Коэффициент теплопроводности $k = 160 \text{ Вт/(К*м)}$;

Плотность $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$;

Теплоёмкость $c = 960 \text{ Дж/м}^3$.

Предусмотрена возможность уточнения теплофизических свойств материала для каждого элемента модели ВОГ в отдельности.

В качестве модели теплообмена с окружающей средой была выбрана модель теплообмена по закону Ньютона в форме конвекции с верхней и боковых внешних поверхностей крышки. Для модели конвективного теплообмена были приняты следующие параметры, характерные для интенсивного ламинарного и локонообразного движения среды: $20 \text{ Вт/(К*м}^2\text{)}$ для верхней поверхности крышки и $15 \text{ Вт/(К*м}^2\text{)}$ для боковых поверхностей.

Внешние условия были смоделированы в виде изменяющейся температуры окружающей среды от +283 до +303 К и скоростью изменения 10 К/час. Циклограмма изменения температуры окружающей среды приведена на рис. 2.

Метод решения. В качестве метода решения поставленной начально-краевой нестационарной задачи теплопроводности (1) с дополнительными условиями (2) - (5) применим метод конечных элементов (МКЭ) [5]. МКЭ является расширением метода взвешенных невязок (МВН) на случай кусочно-определённых базисных функций [6].

Вначале рассмотрим решение стационарной задачи теплопроводности, когда $\varphi = \varphi(x, y, z)$. Неизвестные значения температуры будем аппроксимировать с помощью

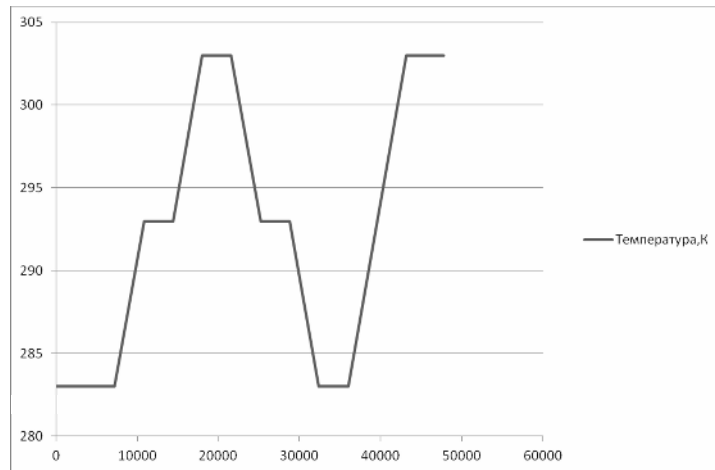


Рис. 2. Циклограмма изменения температуры окружающей среды во времени

так называемых базисных функций или функций формы N_m . В отличие от общего метода взвешенных невязок аппроксимация будет проводиться не для всей области Ω , а для некоторых подобластей Ω^e , суммарно составляющих область Ω :

$$\sum_{e=1}^E \Omega^e = \Omega; \quad \varphi \approx \hat{\varphi} = \sum_{m=1}^M \varphi_m N_m \quad (5)$$

Эти подобласти, обычно простой геометрической формы, называются конечными элементами [4, 5]. Для моделирования трехмерных процессов используют конечные элементы в виде тетраэдров или параллелепипедов, часто с криволинейными границами. φ_m - узловые значения температуры. Узлы – точки на границах элементов.

В работе для расчетов использован 10-узловой трёхмерный элемент в форме тетраэдра (рис.3) [6].

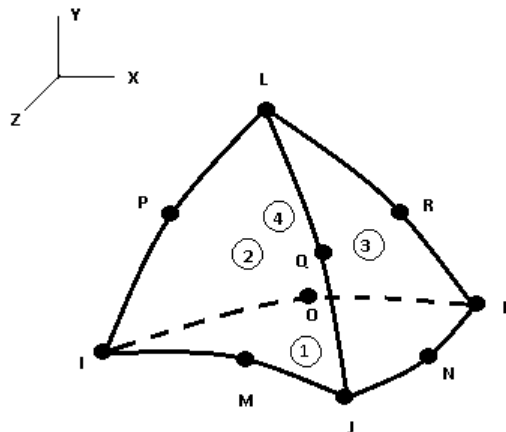


Рис. 3. 10-узловой трёхмерный элемент в форме тетраэдра

Следуя подходам МВН и МКЭ, минимизируем невязку, которая получится при подстановке аппроксимации (5) в дифференциальное уравнение (1), а также в краевые условия типа (3) – (4).

$$\int_{\Omega^e} W_e R_{\Omega} d\Omega + \int_{\Gamma^e} \bar{W}_e R_{\Gamma} d\Gamma = 0 \quad (6)$$

Подобная процедура минимизации и обеспечивает нахождение наилучших аппроксимирующих значений температуры в конечных элементах. В выражении (6):

$$R_{\Omega} = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial z}) + Q \quad (7)$$

- невязка, получаемая в результате подстановки аппроксимации (5) в дифференциальное уравнение (1); R_{Γ} – невязка по краевым условиям. Так, например,

$$R_{\Gamma} = \left. \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial n} \right|_{\Gamma_{\varphi}} - \bar{\varphi} \text{ для условий 1го рода, } R_{\Gamma} = -k \left. \frac{\partial \hat{\varphi}}{\partial n} \right|_{\Gamma_q} - q_n \text{ - для условий 2го рода и т.д.}$$

$W_e, \bar{W}_e$ - так называемые весовые функции, для минимизации невязок по области и по границе соответственно. Далее воспользуемся подходом широко распространенного метода Галеркина [5], в котором весовые функции выбирают такими же, как и базисные. Отметим, что система базисных функций должна удовлетворять условиям полноты, также они должны быть выбраны из класса гладкости, отвечающего порядку дифференциального уравнения [5]. После некоторых преобразований, в которых весовые функции выбираются так, чтобы $W_e = -\bar{W}_e$, получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно вектора узловых значений температуры в узлах конечного элемента $\{\varphi\}$:

$$[K]\{\varphi\} = \{f\}, \quad (8)$$

где компоненты матрицы K и правой части f определяются как:

$$k_{em} = \int_{\Omega^e} \left(\frac{\partial N_e}{\partial x} (k \frac{\partial N_m}{\partial x}) + \frac{\partial N_e}{\partial y} (k \frac{\partial N_m}{\partial y}) + \frac{\partial N_e}{\partial z} (k \frac{\partial N_m}{\partial z}) \right) dx dy dz \quad (9)$$

$$f_e = \int_{\Omega^e} Q N_e dx dy - \int_{\Gamma_q^e} N_e \bar{q} d\Gamma \quad (10)$$

Здесь Γ_q^e - часть границы элемента, которая лежит на Γ_q или аппроксимирует ее часть.

После получения матрицы типа (9) и векторов правых частей (10) для всех элементов, выполняем суммирование (5) по всем элементам. В итоге получаем систему линейных алгебраических уравнений:

$$[\bar{k}]\{\varphi^g\} = \{\bar{f}\} \quad (11)$$

относительно вектора узловых значений температур $\{\varphi^g\}$. Эта система решается одним из численных методов, например методом Холецкого [6].

В случае решения задачи нестационарной теплопроводности (1) применение основных алгоритмов МКЭ [5] приводит к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) вида:

$$[\bar{k}]\{\dot{\varphi}^g\} = \{\bar{f}\}, \quad (12)$$

где $\{\dot{\varphi}^g\}$ - вектор узловых скоростей изменения температуры. Эта СОДУ решается

численно, причем решения задачи стационарной теплопроводности (11) используются как на каждом шаге интегрирования по времени при новых значениях правых частей, так и в начале процесса – как начальные условия.

Для решения СОДУ используется метод Ньютона-Раффсона [7]. Для интегрирования по времени используется улучшенный метод интегрирования Хильбера-Хьюза-Тэйлора [8].

Конечно-элементная модель состоит из 75913 элементов и 21927 узлов с функцией температуры в качестве узловой неизвестной.

Результаты моделирования. В работе выполнено решение задачи нестационарной теплопроводности для модели ВОГ. Использован постоянный шаг интегрирования по времени 100 сек. Температурные поля, полученные в результате решения, представлены на рис.4–6.

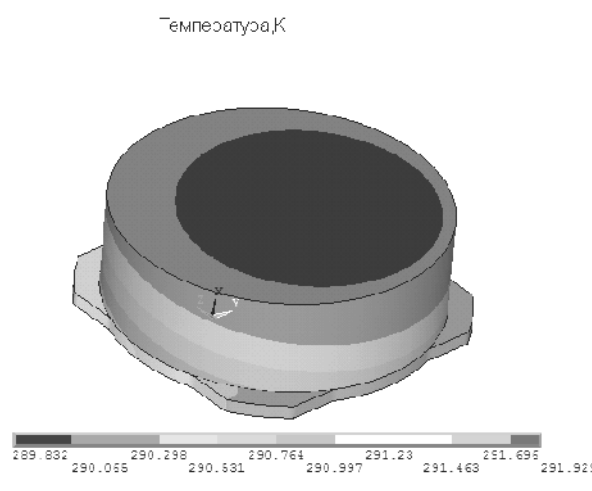


Рис.4. Температурное поле ВОГ. Вид со стороны крышки

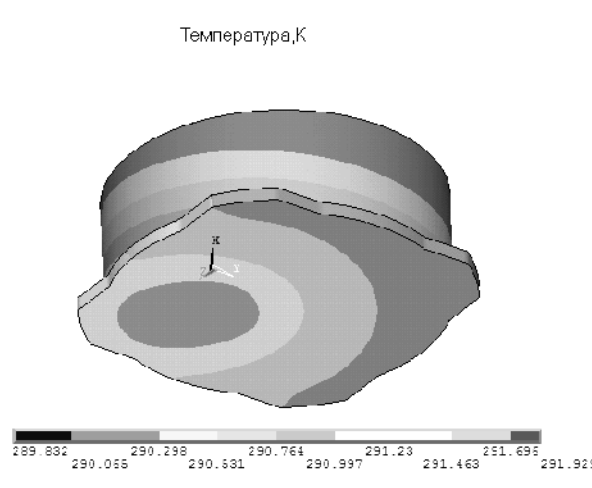


Рис.5. Температурное поле ВОГ. Вид со стороны основания

На рис.7 приведено изменение температуры наиболее и наименее прогретой частей ВОГ: установочной поверхности элемента «ЛазерТелам» и верхней поверхности крышки. Из графика видно, что разность температур составляет примерно два градуса.

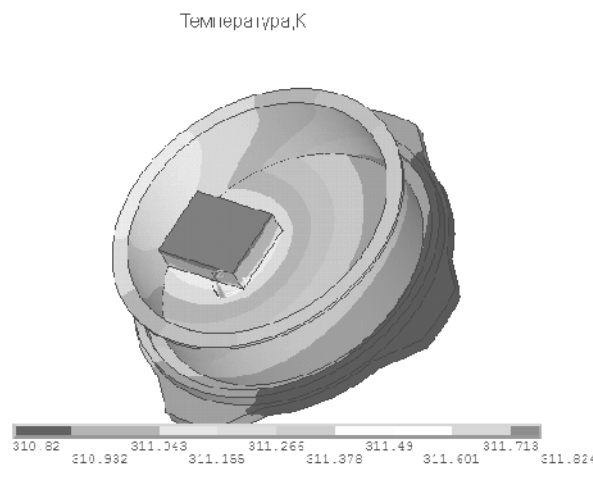


Рис.6. Температурное поле ВОГ. Вид со снятой крышкой

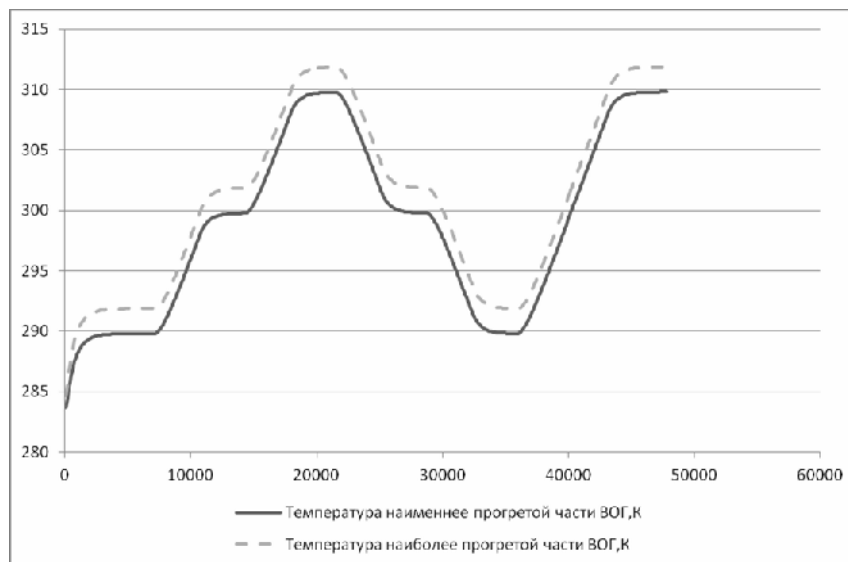


Рис.7. Изменения температуры наиболее и наименее прогретой части ВОГ

С использованием параметров полученного в ходе численного эксперимента температурного поля было проведено тестирование и сравнение методик измерения температурного градиента. Также был выполнен поиск мест установки датчиков температур для определения температурного градиента. Первоначально в качестве заданной точки была взята точка, расположенная на внутренней стороне катушки (узел 13146). В данной точке было проведено численное дифференцирование температуры с шагом 100 сек. Полученная таким образом разность представлена на рис. 8 в виде графика Dt . Также было выбрано несколько точек в разных местах модели ВОГ, для которых получена разность между температурой заданной точки и температурой в тестовой точке. Данные разности представлены на рис. 8 в виде графиков dt_3 - dt_9 .

Из графиков рис.8 видно, что график dt_8 подобен графику Dt , но имеет смещение нуля относительно его и зеркально повёрнут. Данный график соответствует тестовой точке, расположенной на верхней грани крышки в наименее прогретой части ВОГ.

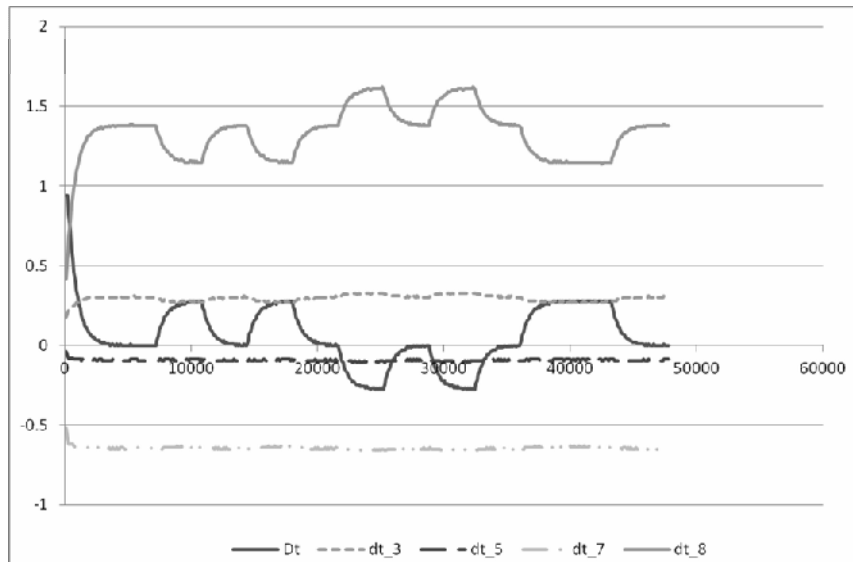


Рис.8. Графики изменения градиента (Dt) и разностей температур (dt_3-dt_8) во времени

После определения смещения нуля на основании значений горизонтальных участков графика dt_8 как 1.38, было вычислен градиент $dt_alter = (1.38 - dt_8)$. График d_alter для рассматриваемой тестовой точки представлен на рис.8. Из данного графика видно, что альтернативный градиент имеет систематическую ошибку примерно в 20%. Для её компенсации был введён корректирующий коэффициент 1.2 и построен график $d_alter_fine = 1.2 * (1.38 - dt_8)$.

Для полученного альтернативного градиента d_alter и d_alter_fine были вычислены относительные ошибки от Dt(%): error_alter и error_alter_fine соответственно, представленные на рис. 9.

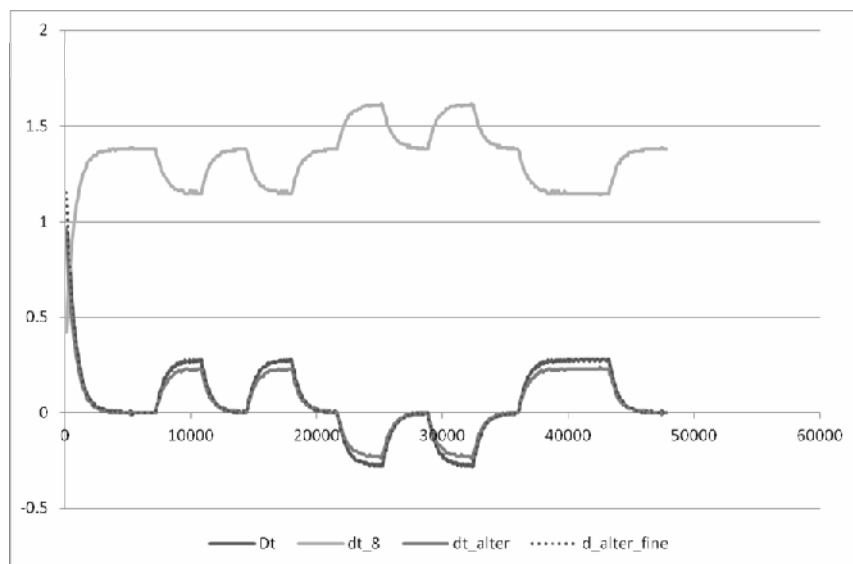


Рис.9. Графики градиентов для 1-го варианта размещения датчиков

Таким образом, был определён 1-ый вариант размещения термодатчиков: на внутренней поверхности катушки (узел 13146) и на верхней поверхности крышки (узел 21922). Был сделан предварительный вывод, что термодатчики целесообразно размещать в наиболее и наименее прогретой частях ВОГ.

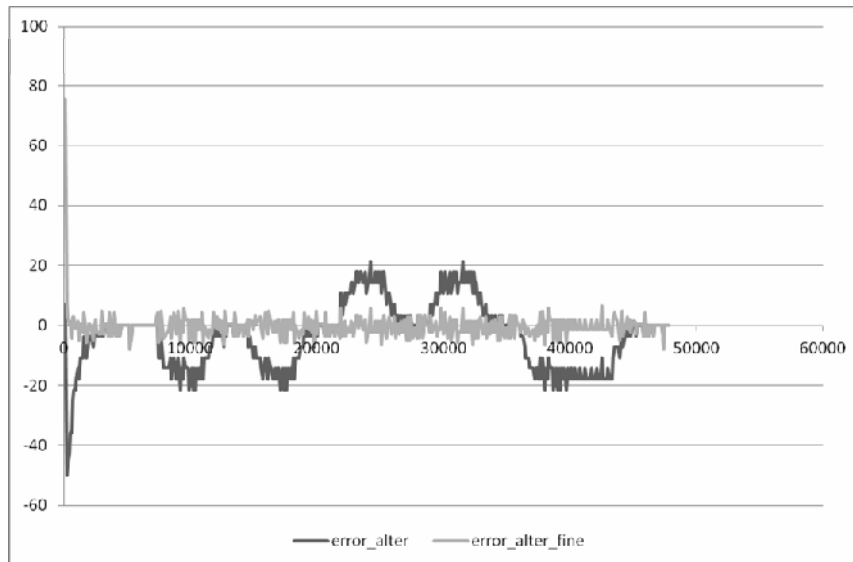


Рис.10. Ошибки для 1-го варианта размещения датчиков (%)

Для проверки данного вывода были выбраны ещё две пары тестовых точек:

1. 2-ой вариант размещения датчиков: узлы 18811 (уточнённый наименее прогретый узел) и 4824 (наиболее прогретый узел на нижней поверхности основания);
2. 3-ий вариант размещения датчиков: узлы 18811 (уточнённый наименее прогретый узел) и 6168 (наиболее прогретый узел установочной поверхности элемента «ЛазерТелам»);

Для данных пар узлов были вычислены Dt (в узле 18811), dt_alter и d_alter_fine , представленные на Рис.11–14.

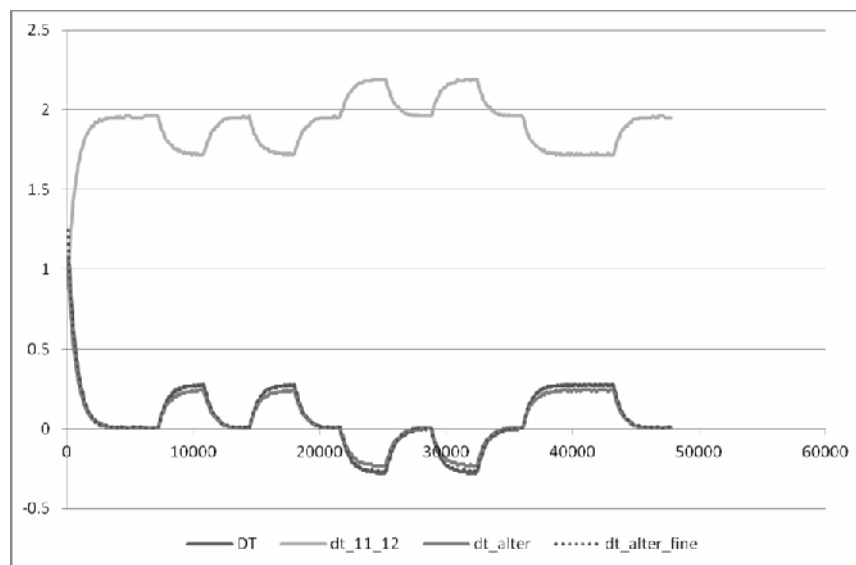


Рис.11. Графики градиентов для 2-го варианта размещения датчиков

Значения смещений нуля и корректирующего коэффициента для всех вариантов представлены в таблице.

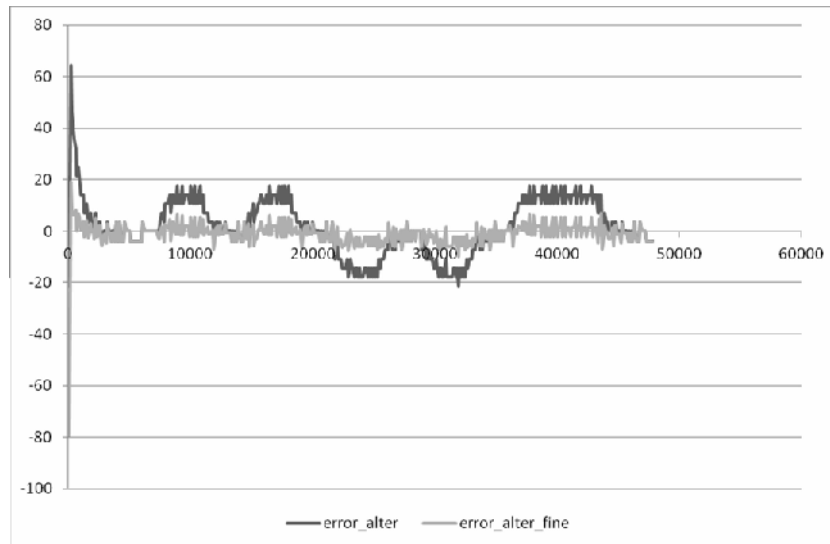


Рис.12. Ошибки для 2-го варианта размещения датчиков (%)

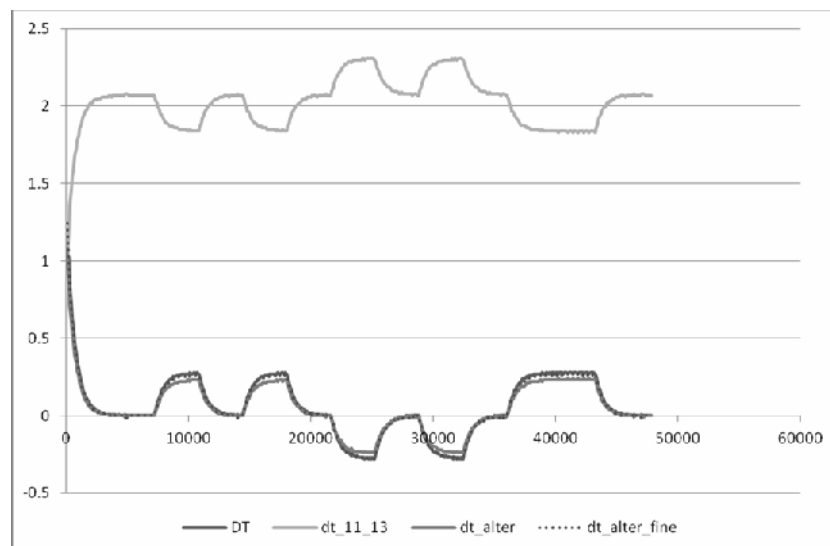


Рис.13. Графики градиентов для 3-го варианта размещения датчиков

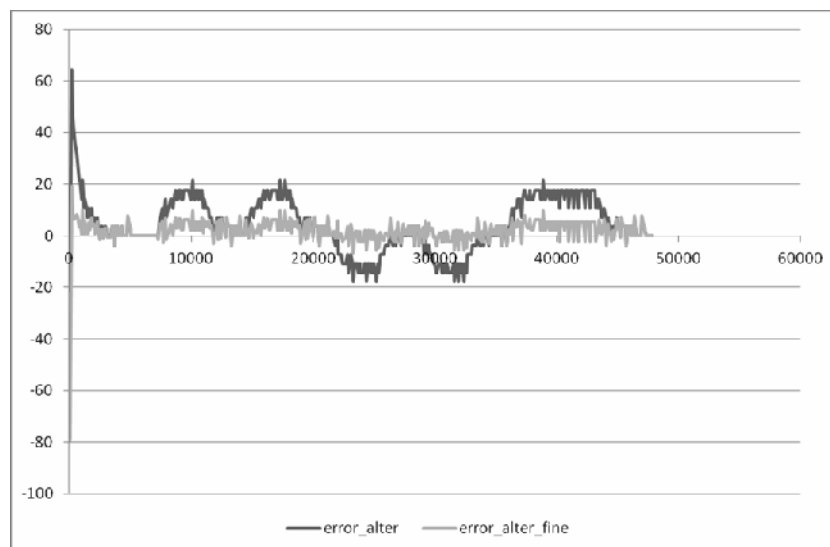


Рис.14. Ошибки для 3-го варианта размещения датчиков (%)

Значения смещений нуля и корректирующих коэффициентов

Вариант	Смещение нуля, К	Корректирующий коэффициент
1-ый вариант	1.38	1.2
2-ой вариант	1.96	1.15
3-ий вариант	2.07	1.15

Выводы. По результатам выполненных исследований можно сделать вывод о возможности применения разностной методики измерения градиента вместо дифференциальной. При этом следует принимать во внимание, что результат измерения, полученный с помощью разностной методики, должен быть обработан с использованием двух корректирующих параметров: смещения нуля и корректирующего коэффициента, которые в свою очередь должны быть определены в ходе процедуры паспортизации. Точность датчика температуры, используемого в разностной методике, должна быть примерно на 20% выше, чем для дифференциальной методики.

Наилучшим местом размещения пары датчиков при использовании разностной методики является наиболее и наименее прогретое место ВОГ. Расположение мест размещения датчиков будет зависеть от краевых условий. Для принятых краевых условий наилучшие места расположения датчиков температуры являются точка на основании установочной поверхности элемента «ЛазерТелам» и точка на верхней поверхности крышки.

Следует отметить, что для принятых в данном эксперименте модели внешних условий и материалов изменение величины Dt , которую предполагается измерять, будет составлять 0.56 градуса. Эта оценка должна быть принята во внимание при выборе характеристик датчиков температур.

Литература: 1. Method for in-field updating of the gyro thermal calibration of an inertial navigation system/ US Patent №5527003, 1996. 2. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Физматгиз, 1950.- 659с. 3. Мухачёв Г.А. Термодинамика и теплопередача / Г. А. Мухачёв, В. К. Щукин. – М.: Высшая школа, 1991.-480с. 4.Н.И.Безухов. Расчеты на прочность, устойчивость и колебания в условиях высоких температур/ Н.И.Безухов, В.Л.Бажанов, И.И.Гольденблат, Н.А.Николаенко, А.М.Синюков. - М.: Машиностроение, 1965. - 567 с.5. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган.– М.:Мир, 1986. – 318с. 6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич.– М.: Мир, 1975. – 539 с. 7. Рындин Е.А. Методы решения задач математической физики. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003 г. - 119 с. 8. Hilber, H. M. Improved Numerical Dissipation for Time Integration Algorithm in Structural Dynamics/ Hilber H. M., Hughes T. J. R., Taylor R. L.// Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 5, 1977. - P. 283 -298.

Bibliography (transliterated): 1. Method for in-field updating of the gyro thermal calibration of an inertial navigation system/ US Patent №5527003, 1996. 2. Tihonov A.N. Uravneniya matematicheskoy fiziki / A. N. Tihonov, A. A. Samarskiy. – M.: Fizmatgiz, 1950.- 659с. 3. Muhachjov G.A. Termodinamika i teploperedacha / G. A. Muhachjov, V. K. Wukin. – M.: Vysshaja shkola, 1991.- 480s. 4.N.I.Bezuhov. Raschety na prochnost', ustojchivost' i kolebanija v uslovijah vysokih temperatur/ N.I.Bezuhov, V.L.Bazhanov, I.I.Gol'denblat, N.A.Nikolaenko, A.M.Sinjukov. - M.: Mashinostroenie, 1965. - 567 s.5. Zenkevich O. Konechnye jelementy i approksimacija / O. Zenkevich, K. Morgan.– M.:Mir, 1986. – 318s. 6. Zenkevich O. Metod konechnyh jelementov v tehnikе / O. Zenkevich.– M.: Mir, 1975. – 539 s. 7. Ryndin E.A. Metody reshenija zadach matematicheskoy fiziki. - Taganrog: Izd-vo TRTU, 2003 g. - 119 s. 8. Hilber, H. M. Improved Numerical Dissipation for Time Integration Algorithm in Structural Dynamics/ Hilber H. M., Hughes T. J. R., Taylor R. L.// Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 5, 1977. - P. 283 -298.

Бреславський Д.В., Погорелов С.Ю., Счастливцев К.Ю., Батирев Б.І., Кузнецов Ю.О., Олейник С.В.

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ГРАДІЕНТІВ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ГІРОСКОПУ ОІУС501**

Стаття містить опис методики визначення залежності результатів вимірювань волоконно-оптичного гіроскопу від температури. Надано математичну постановку завдання, описано скінченно-елементний алгоритм розв'язання. Наведено результати моделювання змінювання температури за часом. Обговорюється вибір методик вимірювань. Обґрунтовано можливість використання різницевої методики.

Бреславський Д.В., Погорелов С.Ю., Счастливцев К.Ю., Батирев Б.І., Кузнецов Ю.А., Олейник С.В.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАДИЕНТОВ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ОІУС501**

Статья содержит описание методики определения зависимости результатов измерений волоконно-оптического гироскопа от температуры. Представлена математическая постановка задачи, описан конечно-элементный алгоритм решения. Приведены результаты моделирования смены температуры во времени. Обсуждается выбор методик измерений. Обоснована возможность использования разностной методики.

Breslavsky D.V., Pogorelov S.Yu., Schastlivets K.Yu., Batyrev B.I., Kuznetsov Yu.A., Oleynik S.V.

**DEVELOPMENT OF METHOD FOR DETERMINE TEMPERATURE GRADIENTS
IN FIBER-OPTIC GYROSCOPE OІUS501**

The paper contains the description of the method for determine the dependence from the temperature of the fiber-optic gyroscope measurement's results. The mathematical problem statement is presented; the finite element method algorithm is described. The results of numerical simulation of the temperature time variation are given. The selection of the measurement method is discussed. The use of time difference method is justified.

УДК 629.3.053

Зимин Д.Б., Слюсаренко Ю.А., канд. техн. наук; Клименко И.В.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТАНКА «ОПЛОТ» И ТАНКОВ,
НАХОДЯЩИХСЯ НА ВООРУЖЕНИИ АРМИИ УКРАИНЫ**

1. Постановка задачи. Украина является одной из ведущих танкостроительных держав мира. Танки «ОПЛОТ», «Т-80УД», «Т-84», конкурируют на международных выставках вооружений и военной техники с танками таких высокоразвитых в техническом отношении стран, как Соединенные Штаты Америки (танк "Абрамс"), Англия (танк "Челленджер"), Франция (танк "Леклерк"), Германия (танк "Леопард-2"), Россия (танк Т-90).

Новые и модернизированные военные гусеничные машины (ВГМ) украинского производства вызывают неизменный интерес на многочисленных международных выставках вооружений и военной техники. Внешнеэкономические контракты на поставку ВГМ свидетельствуют о том, что указанные машины отечественного