

УДК 681.2.002.2; 681.2.002.5

КРИТИЧНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

¹Денисов Ю.В., ²Капленко М.В.

¹ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: teormech@mmf.ustu.ru;

²ФГУП «Уральский электромеханический завод», Екатеринбург, e-mail: k-14627@planet-a.ru

В статье представлен обобщенный подход к построению и использованию математических моделей, ориентированных на решение технологических задач изготовления прецизионных приборов. Показано, как при углубленном анализе конструкции прибора устанавливаются конструктивные параметры, влияние которых недооценивалось при изготовлении и проектировании. Представлен алгоритм количественной оценки влияния изменений, вызванных повышением технологичности конструкции деталей, на функциональные характеристики прибора. Приведен пример определения спектра конструктивных параметров; определение их весовых характеристик; их влияние на функциональные характеристики прибора. Использование набора критических параметров служит для точного определения параметров технологического процесса, обеспечивающих эти параметры. Показано, что разработанные рекомендации по улучшению технологических процессов позволяют сократить время изготовления приборов и повысить стабильность их настройки. Исследование посвящено системному подходу к выпуску приборов.

Ключевые слова: математическая модель, конструктивные параметры, технологический процесс, параметры настройки

CRITICAL DESIGN PARAMETERS OF PRECISION INSTRUMENTS

¹Denisov Y.V., ²Kaplenko M.V.

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, e-mail: teormech@mmf.ustu.ru;

²Federal State Unitary Enterprise Ural Electromechanical Plant,
Ekaterinburg, e-mail: k-14627@planet-a.ru

The article presents a generalized approach to the construction and use of mathematical models aimed at addressing process tasks of making precision instruments. Through the in-depth analysis of the instrument's design, the authors show how to set design parameters, the influence of which has been underestimated in the manufacturing process and design engineering. They introduce the algorithm of quantitative assessment of the impact of changes caused by the technological enhancement of the parts' design, on the device's functional features. They show an example of determining the spectrum of design parameters, determining their weight characteristics, and their impact on the instrument's functional features. The use of a set of critical parameters serves to accurately determine the parameters of a technological process, that condition these parameters. It is shown that the developed recommendations to enhance the technological processes help to reduce time spent on the instrument's manufacture and to increase the stability of their settings. The research is focused on a systematic approach to the production of precision instruments.

Keywords: a mathematical model, design parameters, a technological process, instrument settings

Прецизионные инерционные приборы являются важнейшими элементами систем инерциальной навигации. Данный класс приборов является перспективным и интенсивно развивающимся (постоянно проектируются и вводятся в производство новые поколения приборов с улучшенными функциональными характеристиками).

Производство современных прецизионных приборов предъявляет повышенные требования к качеству и точности их изготовления, что приводит к необходимости углубленного изучения не только конструкции приборов, но и технологии их сборки и настройки. Поэтому разработка технологических решений, направленная, во-первых, на обеспечение требуемых конструктивных параметров, во-вторых, на повышение стабильности настройки приборов, в-третьих, на сокращение трудозатрат

на их изготовление, является актуальной задачей на сегодняшний день. Для решения поставленной задачи необходимо выполнение следующих условий:

– задачи должны решаться с помощью математических моделей, использующих современные программные продукты [1, 5];

– модели должны включать в себя максимально полный набор конструктивных параметров и точное описание физических процессов [4];

– при разработке модели, обеспечивающей связь конструктивных параметров с параметрами технологических процессов, должны быть учтены имеющиеся на предприятии типовые технологические процессы, имеющееся современное оборудование;

– использование системного подхода [2], когда между модулями технологического процесса устанавливается связь

с использованием принципа «производитель – потребитель» и осуществляется контроль параметров процесса.

Предисследования

Некоторые прецизионные приборы:

- 1) датчики ускорения;
- 2) интегрирующие акселерометры.

Метод исследования

- 1) концептуальные модели;
- 2) причинно-следственные диаграммы;
- 3) расширенный спектр критических конструктивных параметров.

Алгоритм построения и применения математических моделей, использующих расширенный спектр конструктивных параметров, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм построения и применения математических моделей, использующих расширенный спектр конструктивных параметров

В структурной схеме можно выделить две ветви. В основной ветви показано, как при углубленном анализе конструкции прибора устанавливаются конструктивные параметры, влияние которых недооценивалось при изготовлении. В результате этого формируется расширенный спектр конструктивных параметров. Разработанные математические модели позволяют учесть влияние каждого конструктивного параметра на функциональные характеристики прибора. Далее, используя данные технологической и конструкторской документации, анализируя исследуемый технологический процесс, выявляем управляющие параметры технологических процессов настройки и сборки приборов, обеспечивающие расширенный спектр конструктивных параметров. На основании полученной связи между функциональными характеристиками прибора и параметрами технологических процессов разрабатывается ряд технологических решений по настройке и сборке прибора, в частности, введение дополнительных контрольных операций, уточнение сборочных и настроечных операций.

Вторая ветвь иллюстрирует алгоритм количественной оценки влияния изменений, вызванных повышением технологичности конструкции деталей, на функциональные характеристики прибора. Вначале рассматривается предложение по повышению технологичности детали и определяется конструктивный параметр, который изменится в результате улучшения, определяются допустимые пределы данного изменения. Затем, с помощью разработанных моделей выполняется количественная оценка влияния данного изменения на функциональные характеристики прибора, позволяющая прогнозировать влияние того или иного технологического улучшения на работу прибора.

примеры использования

Приведем пример критических конструктивных параметров для датчика ускорения (конструкция и метод расчета подробно представлены в [3]) с чувствительным элементом, совершающим вращательное движение, рис. 2, при повторных срабатываниях прибора (таблица).

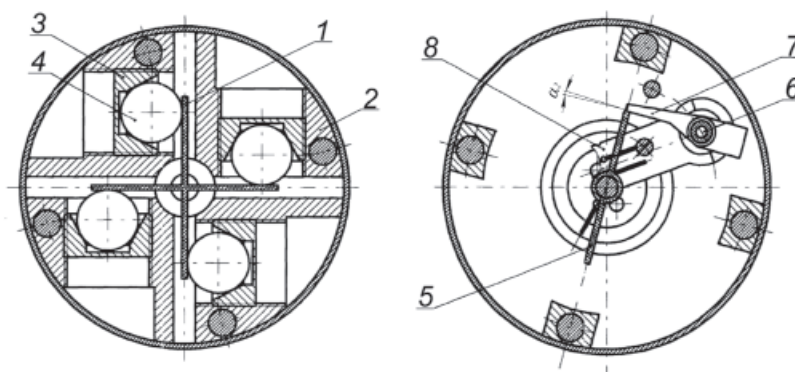


Рис. 2. Основные элементы конструкции порогового датчика:
 1 – крестовина; 2 – корпус; 3 – конус; 4 – инерционное тело; 5 – фиксатор;
 6 – вал; 7 – рычаг; 8 – переключатель

Работа механического датчика ускорения осуществляется следующим образом: при действии ускорения в любом направлении соответствующие инерционные тела (4) выкатываются из конусов (3) и поворачивают крестовину (1). Установленный на крестовине фиксатор (5) поворачивается, освобождая рычаг (7) и связанный с ним вал (6). Переключатель (8) замыкает требуемые контакты.

При повторном взведении датчика с вращательным движением рабочего элемента стабильность ускорения срабатывания главным образом определяется условиями крепления концов пружины к валу и корпусу и взаимным расположением деталей. Критичные конструктивные параметры при повторных срабатываниях прибора приведены в таблице.

Критичные конструктивные параметры при повторных срабатываниях датчика

Параметр	1	2	3	4
		Влияние угла $\alpha_2 = 0^\circ$ (угол отклонения от 90° контакта фиксатора к рычагу) (рис. 2)	Влияние параметра величины смещения пружины относительно вала, в направлении стрелки (рис. 3)	
Относительная погрешность срабатывания, %	1	3	2	Менее 1



Рис. 3. Смещения пружины относительно вала датчика

Диаграмма влияния различных факторов (см. табл. 1) на погрешность срабатывания прибора показана на рис. 4.

Первый параметр влияет на погрешность срабатывания наиболее сильно (внутренний конец пружины не закреплен в пазу и может смещаться в направлении стрелки), поэтому целесообразно введение дополнительной контрольной операции при установке обоймы с плоской спиральной пружиной на вал крестовины для контроля данного смещения. Введение данной операции позволило, во-первых, суще-

ственно сократить временные затраты на анализ, сборку и разборку прибора при настройке ускорения срабатывания на центрифуге, во-вторых, повысить стабильность срабатывания прибора. Функции распределения срабатывания, рис. 5, при настройке для партии приборов до и после введения дополнительной контрольной операции. По кривой распределения видно существенное сокращение дисперсии ускорения срабатывания и уменьшение количества несоответствий при сборке и настройке.

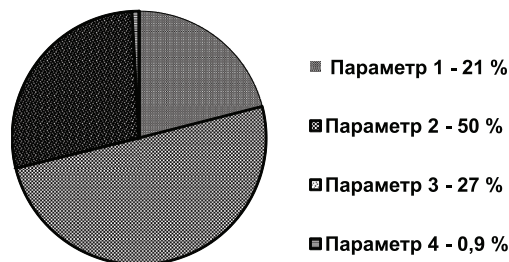


Рис. 4. Диаграмма влияния различных факторов на погрешность срабатывания прибора при повторных взведениях

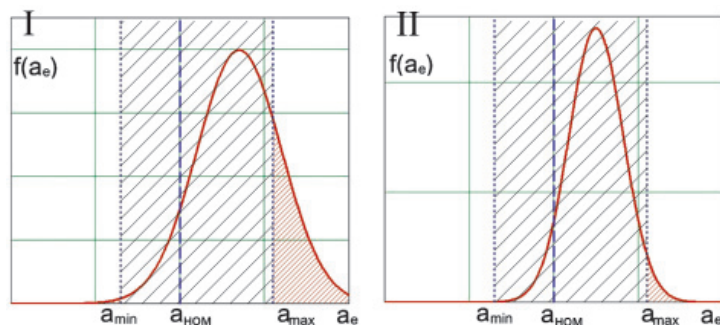


Рис. 5. I – функция распределения $f(a_e)$ ускорения срабатывания при настройке для партии приборов до введения дополнительной контрольной операции. II – функция распределения $f(a_e)$ ускорения срабатывания при настройке для партии приборов после введения дополнительной контрольной операции

Выводы

1. Математические модели, ориентированные на решение технологических задач, позволяют выявить критичные конструктивные параметры прибора, а также проследить связь: критичные конструктивные параметры – управляющие параметры технологического процесса – функциональная характеристика прибора.

2. Определение критичных конструктивных параметров и применение математических моделей эффективно и целесообразно, так как позволяет разработать рекомендации по улучшению технологических процессов и сократить время изготовления приборов и повысить стабильность их настройки.

Список литературы

1. Андреева Е.Г. Конечно-элементный анализ стационарных магнитных полей с помощью программного пакета ANSYS: учебное пособие / Е.Г. Андреева, С.П. Шапел, Д.В. Колмогоров. – Омск: ОмГТУ, 2002. – 92 с.
2. Великанов В.Б. Основы научного сопровождения производства прецизионных приборов / В.Б. Великанов, Ю.В. Денисов. – Снежинск: РФЯЦ – ВИАТФ, 2009. – 178 с.
3. Денисов Ю.В. Использование методов математического моделирования для повышения эффективности настройки пороговых датчиков ускорения / Ю.В. Денисов, М.В. Капленко // Научное приборостроение. – 2011. – Т. 21, № 2. – С. 106–111.
4. Капленко М.В. Использование методов математического моделирования для инженерного анализа инерционных приборов // Наука и технологии. Итоги диссертационных исследований. – Т. 1. – М.: РАН, 2009. – С. 318–325.

5. Огородникова О.М. Расчет конструкций в ANSYS. Сборник учебных пособий. – СПб.: Техноцентр компьютерного инжиниринга, 2009. – 452 с.

References

1. Andreeva E.G., Shamets S.P., Kolmogorov D.V. Certainly the-element analysis of stationary magnetic fields using ANSYS. Omsk, Omsk State Technical University, 2002. 92 p.
2. Velikanov V.B., Denisov Yu.V. Basics of scientific support of production of precision instruments. Snezhinsk, Russian Federal Nuclear Center – VIITF, 2009. 178 p.
3. Denisov Yu.V., Kaplenko M.V. The implementation of mathematical simulation methods for the threshold acceleration transducers settings efficacy improvement. Scientific Instrumentation, 2011, no. 21, no. 2, pp. 106–111.
4. Kaplenko M.V. Mathematical modeling for the engineering analysis of inertial instruments Science and technology. M., Russian Academy of Sciences, 2009, pp. 318–325.
5. Ogorodnikova O.M. Structural analysis in ANSYS. St-Petersburg, 2009. 452 p.

Рецензенты:

Чечулин Ю.Б., д.т.н., профессор кафедры детали машин Института фундаментального образования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Паршин В.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлургические и роторные машины» Механико-машиностроительного института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 17.10.2013.