УДК 621.039.564

# АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ

**Артемьева Е.А., Денисов Ю.В.**

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: artemievamti@gmai.com*

Рассмотрены прецизионные, вибрационные приборы, использующие зависимость ускорения движущегося объекта от частоты колебаний. Анализируемые приборы имеют малые геометрические размеры, высокую частоту колебаний, малые допуски на функциональные характеристики. Для решения задачи использован аппарат математической физики при анализе колебаний балки переменного (в общем случае) сечения с учетом внутреннего трения при различных типах граничных условий. Разработаны расчетные схемы прибора, имеющего два канала и использующего разностную частоту колебаний каналов с учетом определенных допусков. Разработанная модель учитывает свойства материала (внутреннее трение), допуски на геометрические размеры, отклонение формы сечения от номинального значения и позволяет учесть влияние этих параметров на функциональные характеристики – зависимость ускорения прибора от разности частот колебаний каналов прибора в определенном интервале температур.

**Ключевые слова: датчик ускорения, колебания системы, внутреннее трение, граничные условия, разность частот**

# ANALYSIS FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ACCELERATION SENSORS

**Artemeva E.A., Denisov Y.V.**

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N Yeltsin, Ekarteinburg, e-mail: artemievammi@gmail.com*

The precision, vibration devices using dependence of acceleration of moving object from frequency of fluctuations are considered. Analyzed devices have the small geometrical sizes, high frequency of fluctuations, small admissions on functional characteristics. For the solution of a task the device of mathematical physics is used in the analysis of fluctuations of a beam variable (generally) sections taking into account internal friction at various types of boundary conditions. The settlement circuitry of the instrument, having two channels and using the differential frequency of fluctuations of channels taking into account certain admissions is developed. The developed model considers properties of a material (internal friction), on the geometrical sizes, a deviation of a form of section from nominal rate and influence of these parameters on functional characteristics – dependence of acceleration of the device on a difference of frequencies of fluctuations of channels of the device in a certain interval of temperatures allows to consider admissions.

**Keywords: sensor of acceleration, system fluctuation, internal friction, boundary conditions, difference of frequencies**

Конструктивная схема прибора, рис. 1, включает следующие основные элементы:

- чувствительные элементы I и II каналов, которые состоят из выполненной в виде единой детали резонаторов 1, упругой перемычки 6, инерционного тела 5;

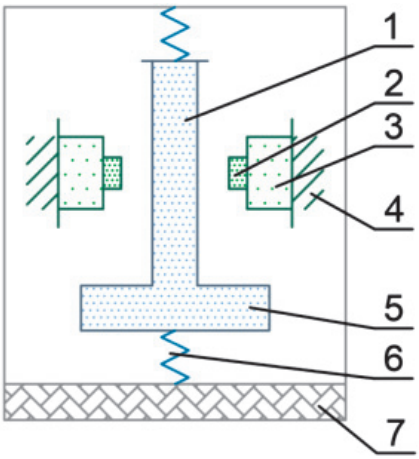


*Рис. 1. Конструктивная схема датчика ускорения*

- магнитную систему, которая содержит магниты 2, магнитопроводы 3, экран 4;
- основание 7.

Прибор работает следующим образом: стержневые резонаторы находятся в режиме поперечных колебаний, которые задаются электромагнитным возбудителем, с учетом растягивающей или сжимающей продольной силы. Полученные колебания воспринимаются приёмной электромагнитной системой, от которой сигналы после усиления поступают на электромагнитный преобразователь. Прибор имеет два канала, включенных по дифференциальной схеме, и настраивается на разностную частоту $\Delta f = f_1 - f_2$, где $f_1$ – частота I канала; $f_2$ – частота II канала. При действии на прибор линейного ускорения происходит возрастание частоты I канала $f_1$ и убывание частоты II канала $f_2$. Разность между частотой канала для определенного значения ускорения и при его отсутствии представляет собой чувствительность соответствующего канала. Разностная частота $\Delta f$ также изменяется при действии линейного ускорения и для

каждого значения ускорения имеет вполне определенное значение.

Функциональными характеристиками прибора являются: частота каналов, разностная частота, зависимость частоты I и II каналов от ускорения (чувствительного прибора).

Актуальные проблемы при этом:

1. Обеспечение разностной частоты с определенным допуском.

2. Стабильность разностной частоты при изменении температуры.

3. Обеспечение чувствительности каналов с определенным допуском.

На рис. 2 приведена концептуальная модель прибора, служащая для формирования множества системных показателей и алгоритмов их вычисления.

На рис. 3 приведена причинно-следственная диаграмма, служащая для установления параметров прибора и технологических процессов, влияющих на функциональные характеристики прибора.

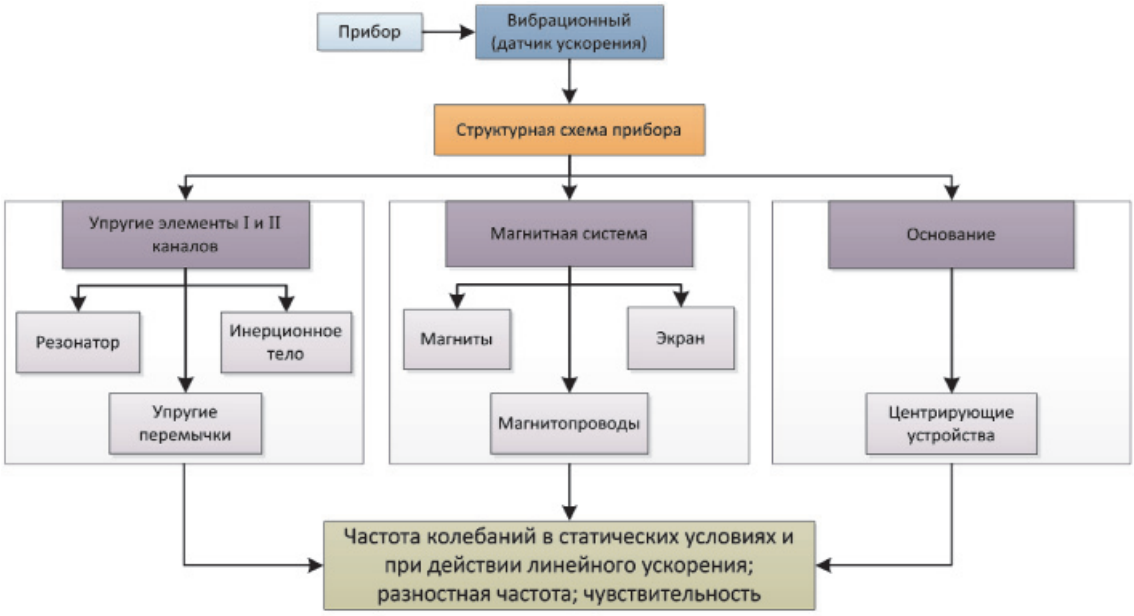


*Рис. 2. Концептуальная модель датчика ускорения*

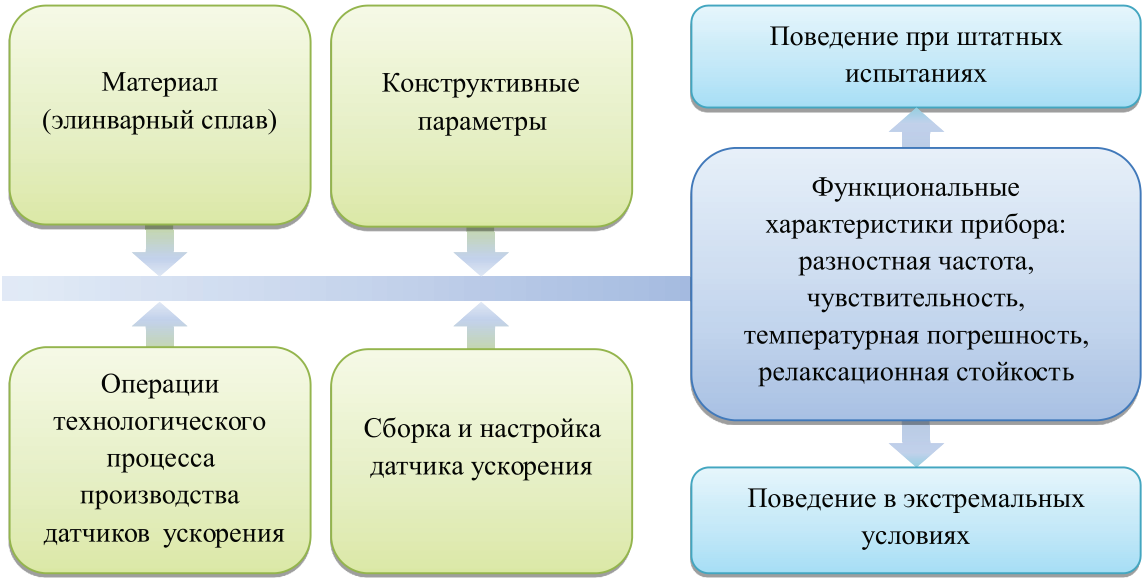


*Рис. 3. Причинно-следственная диаграмма оценки факторов, влияющих на функциональные характеристики датчика*

Для решения задачи определения функциональных характеристик рассмотрены колебания механических систем с распределенными параметрами с учетом внутреннего трения и случайного характера параметров системы [1, 2, 3]. Математические процедуры, выполненные при определении функциональных характеристик прибора, показаны на рис. 4.

*Рис. 4. Процедуры математического моделирования датчика ускорения*

Разработанные математические модели позволили также установить связь параметров технологического процесса с функциональными характеристиками датчика ускорения, дополняя результаты [4, 5]. Представляет интерес установление связи термической обработки элинварного сплава с функциональными характеристиками на основе аналитических и экспериментальных зависимостей, рис. 5.

Одним из основных параметров, влияющих на функциональные характеристики датчика ускорения, является эффективный модуль упругости материала, зависящий от режимов термической обработки элинварного сплава, размеров и свойств дефектного слоя, появляющегося при механической обработке.

В этом случае критичным параметром является эффективный модуль упругости, определяющий частоту поперечных колебаний резонатора. Эффективный модуль упругости зависит от модулей упругости основного материала (элинварный сплав), дефектного слоя (шлаки, металлические включения при электроэрозионной обработке), толщин основного материала и дефектного слоя. С учетом экспериментальных зависимостей определены границы параметров

операционной технологии (скорость резания, глубина, подача), определяющие критичный конструктивный параметр – толщину дефектного слоя. Управляющими параметрами являются режим термической обработки (закалка, старение), определяющие модуль упругости элинварного сплава (основной материал). Поэтому практически впервые авторами построена зависимость частоты поперечных колебаний от режимов термической обработки (отсутствует в литературе), установлены параметры управляющего воздействия и параметры технологического процесса, определяющие критичный конструктивный параметр – модуль упругости материала. Тем самым определены параметры управляющего воздействия и технологического процесса, обеспечивающие функциональные характеристики датчика ускорения.

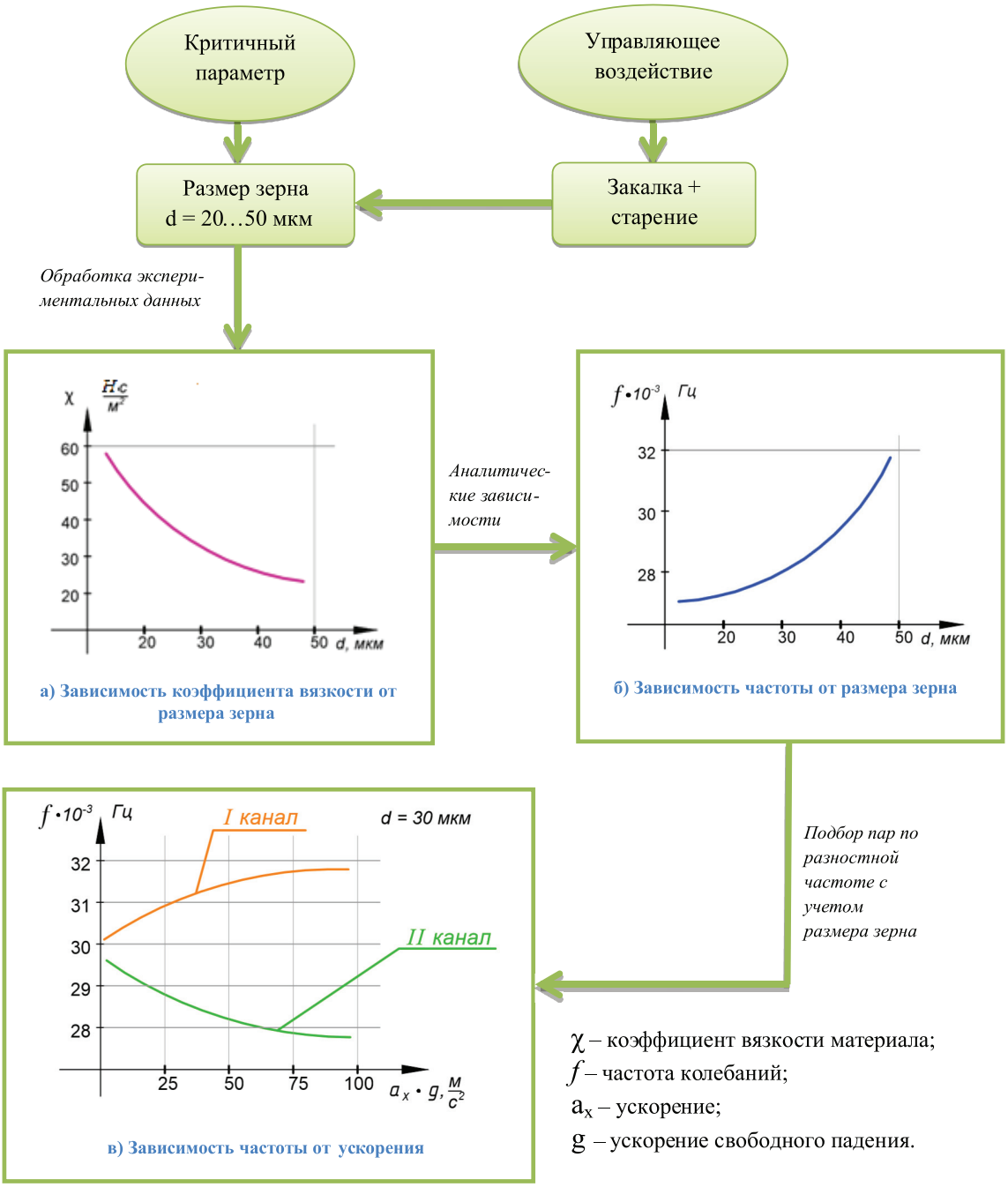


*Рис. 5. Влияние размеров зерна, режимов термической обработки на функциональные характеристики вибрационного прибора*

## Заключение

Использование концептуальной модели и причинно-следственной диаграммы дает возможность разработать и проанализировать детерминированные и вероятностные модели датчика ускорения. С использованием предложенных аналитических зависимостей устанавливается связь между конструктивными параметрами прибора и функциональными характеристиками. Зависимости могут быть использованы для оптимизации конструктивных параметров, повышения надежности и безопасности работы датчиков ускорения.

## Список литературы

1. Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. – М.: Физматгиз, 1960. – 580 с.

2. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. – М.: Физматгиз, 1960. – 344 с.

3. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического уравнения. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.

4. Лариков Е.А. Узлы и детали механизмов приборов. Основы теории и расчета / Е.А. Лариков, Т.И. Виляевская. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.

5. Приборостроение и средства автоматики: справочник в 5 т. / под ред. А.Н. Гаврилова. – Т. 2, кн. II. – М.: Машиностроение, 1964. – 392 с.

## References

1. Den-Gartog, Dzh. P. Mehanicheskie kolebanija [*Mechanical oscillations*]. Moscow, Fizmatgiz, 1960, 580 p.

2. Gavrilov A.N. Priborostroenie i sredstva avtomatiki: spravochnik in 5 v [Instrument making and means of automatic equipment: the reference book in 5 v]. Vol. 2., b. II. – Moscow, Mashinostroenie, 1964, 392 p.

3. Panovko Ja.G. Vnutrennee trenie pri kolebanijah uprugih system [*Internal friction at fluctuations of elastic systems*]. Moscow, Fizmatgiz, 1960, 344 p.

4. Pugachev V.S. Teorija sluchajnyh funkcij i ee primenenie k zadacham avtomaticheskogo uravnenija [*The theory of stochastic functions and its application to problems of the automatic equation*]. Moscow, Fizmatgiz, 1962, 884 p.

5. Larikov E.A. Uzly i detali mehanizmov priborov. Osnovy teorii i rascheta [*Knots and details of mechanisms of devices. Bases of the theory and calculation*]. Moscow, Mashinostroenie, 1974, 328 p.

**Рецензенты:**

Паршин В.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлургические и роторные машины» механико-машиностроительного института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Чечулин Ю.Б., д.т.н., профессор кафедры «Детали машин» механико-машиностроительного института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 28.11.2014.