

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Базыкин С.Н.¹, Базыкина Н.А.¹, Кривулин Н.П.¹

¹ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия, (440026, Пенза, ул. Красная, 40), e-mail: cbazykin@yandex.ru

В статье рассматриваются принципы построения и состояние производства информационно-измерительных систем линейных перемещений. Приведена возможная обобщенная схема оптоэлектронной системы. Показано, что действие оптоэлектронных информационно-измерительных систем основано на приеме и преобразовании электромагнитного излучения в различных диапазонах оптической области спектра. Современные лазерные интерферометры органически вписываются в сложные технические системы, например, в информационно-измерительные системы многокоординатных станков и измерительных машин, и осуществляют не только измерительные функции, но и решают задачи управления и контроля во время обработки изделия, тем самым гарантируя качество готовой продукции. Показано, что реализация повышения точности информационно-измерительных систем за счет компенсации погрешностей при обработке результатов измерений встречала определенные трудности, связанные с определением погрешностей в рабочем объеме технической системы. Использование современных информационно-измерительных систем на основе лазерных интерферометров позволяет определять отдельные составляющие суммарной погрешности в выбранных точках рабочего пространства технической системы и решать данную проблему.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, лазерный интерферометр, оптика, лазер.

PRINCIPLES OF THE BUILDING AND CONDITION PRODUCTION INFORMATION- MEASURING SYSTEMS OF THE LINEAR DISPLACEMENT

Bazykin S.N.¹, Bazykina N.A.¹, Krivulin N.P.¹

¹Penza State University, Penza, Russia, (440026, Penza, Krasnaya street, 40), e-mail: cbazykin@yandex.ru

In article are considered principles of the building and condition production information-measuring systems of the linear displacement. It is brought possible generalised scheme optometrist-electronic systems. It is shown, that action optometrist-electronic information-measuring systems is founded on acceptance and transformation of the electromagnetic radiation in different range of the optical area of the spectrum. The modern lazer interferometers organic are inserted in complex technical systems, for instance, in information-measuring systems much coordinate tool and measuring machines, and realize not only measuring functions, but also solve the problems of control and checking during processing the product, hereunder guaranteeing quality to finished products. It is shown that realization of increasing to accuracy information-measuring systems to account of the compensations of inaccuracy when processing result measurements met the certain difficulties, connected with determination of inaccuracy in worker technical system volume. Use modern information-measuring systems on base lazer interferometer allows to define separate forming total inaccuracy in chosen point worker space of the technical system and solve the givenned problem.

Keywords: information-measuring system, lazer interferometer, optics, lazer.

В настоящее время оптоэлектронные приборы используются при решении самых разнообразных задач: линейных и угловых измерениях, автоматическом слежении и управлении подвижными объектами, исследовании природных ресурсов и окружающей среды, обработке оптических изображений.

Структура многих современных оптоэлектронных информационно-измерительных систем достаточно сложная. Она включает большое число различных по своей физической природе и принципу действия звеньев – аналоговых и цифровых преобразователей

электрических сигналов, микропроцессоров, механических и электронно-механических узлов и т.д.

Действие оптоэлектронных информационно-измерительных систем основано на приеме и преобразовании электромагнитного излучения в различных диапазонах оптической области спектра: ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной [5]. Одна из возможных обобщенных схем оптоэлектронных систем представлена на рисунке 1.

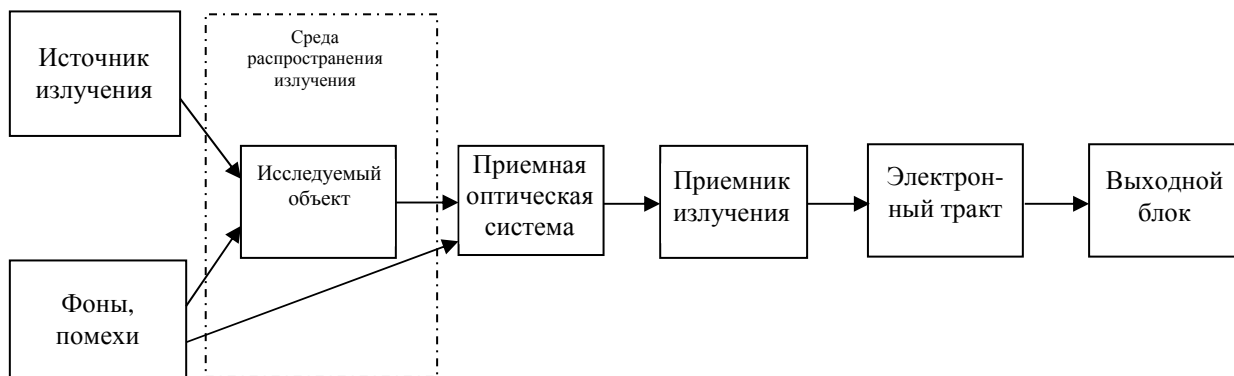


Рис. 1. Обобщенная схема оптоэлектронных приборов

Источник излучения создает материальный носитель полезной информации – поток излучения. Часто источник излучения дополняется передающей оптической системой, которая направляет поток на исследуемый объект или непосредственно на приемную оптическую систему. Приемная оптическая система собирает поток, излучаемый наблюдаемым объектом или отраженный от него, формирует этот поток и направляет его на приемник излучения. В результате перемещения объекта формируется низкочастотный сигнал. Этот сигнал, накладываясь на поток излучения, образует модулированный измерительный сигнал, несущий в себе полезную информацию об измеряемой физической величине [7].

Приемник излучения преобразует оптический сигнал в электрический. Выходной блок формирует сигнал, по своим параметрам удовлетворяющий требованиям получателя информации.

Первые оптоэлектронные информационно-измерительные системы появились в связи со стремлением к автоматизации оптических измерений. Их предшественниками являются визуальные оптические приборы, для которых приемником излучения служит глаз человека. Визуальные оптические приборы и сегодня широко используются в различных областях науки и техники. Тем не менее, недостаточность спектрального диапазона чувствительности человеческого глаза, ограниченное быстродействие органов чувств и «исполнительных» органов человека привели сначала к созданию сравнительно несложных автоматизированных оптических информационно-измерительных систем, например, с фотоэлектрической регистрацией результатов измерений, а затем и полностью

автоматизированных оптоэлектронных информационно-измерительных систем и комплексов.

После создания лазеров перед оптоэлектронными информационно-измерительными системами открылись большие возможности. Достоинством лазеров является то, что они имеют высокую пространственную и временную когерентность. Пространственные и временные параметры лазерного излучения определяются как фазовым состоянием активной среды (твердое, жидкое, газообразное), так и различными конструкциями резонаторов и режимом накачки лазеров [3, 4].

Такие информационно-измерительные системы при высоком разрешении (0,01 мкм) имеют малые периодические и нерегулярные технологические ошибки, характерные для традиционных измерительных средств (погрешности типа нестыковки масштабных линеек, изменений масштаба из-за нагрева и загрязнений, биений измерительных винтов, и т.п.).

Современные лазерные интерферометры органически вписываются в сложные технические системы, например, в информационно-измерительные системы многокоординатных станков и измерительных машин. Они имеют бесконтактный принцип интерференционных измерений, модульность конструкции, возможность построения многокоординатных информационно-измерительных систем, наличие связи с ЭВМ и поэтому могут осуществлять не только измерительные функции, но и решать задачи управления и контроля во время обработки, тем самым гарантируя качество готовой продукции [1, 2, 6].

Информационно-измерительные системы на основе лазерных интерферометров могут конкурировать с традиционными измерительными средствами, если измерения проводятся в диапазонах с верхним пределом измерения до 1 м. Если верхний предел диапазона измерения превышает 1 м, то информационно-измерительные системы на основе акустооптических лазерных интерферометров по производительности, метрологическим и экономическим критериям превосходят традиционные измерительные системы. Этот вывод подтверждает практика промышленного выпуска металлорежущих станков и измерительных машин, оснащенных информационно-измерительными системами на основе лазерных интерферометров [6, 7]. В настоящее время насчитывается не один десяток машин такого типа, включая прецизионные станки для алмазной обработки, токарные, фрезерные, шлифовальные станки, измерительные машины для контроля ходовых винтов, штриховых шкал, зубчатых колес и др.

Повышение точности информационно-измерительных систем за счет компенсации погрешностей при обработке результатов измерений не ново, но ее реализация до настоящего времени встречала определенные трудности, связанные с определением

погрешностей в рабочем объеме технической системы, например, станка. Расширение функциональных возможностей современных информационно-измерительных систем на основе лазерных интерферометров для измерения прямолинейности перемещений, плоскостности, параллельности и ортогональности сопрягающихся плоскостей и углового перемещения объектов позволяет определять отдельные составляющие суммарной погрешности в выбранных точках рабочего пространства технической системы. Эти погрешности потом суммируются для определения погрешности в данной точке. По полученным значениям погрешностей проводится коррекция результатов во всей рабочей зоне.

Таким образом, практическое использование отечественными и зарубежными фирмами лазерных интерферометров и лазерных информационно-измерительных систем показывает, что по метрологическим показателям они превосходят традиционные оптоэлектронные информационно-измерительные системы.

В линейных измерениях наибольшее распространение получили информационно-измерительные системы на основе интерферометра Майкельсона. В них измерение значения перемещения осуществляется сравнением со значением частоты (длиной волны) лазера. Измерение линейного перемещения в информационно-измерительных системах на основе лазерного интерферометра осуществляется косвенным методом [5, 7]. Значение перемещения

$$L = \varphi \lambda_d = m \lambda_d \int_0^{t_{изм}} V_d dt, \quad (1)$$

где φ – накопленная за время измерения (движения) фазовая разность хода интерферирующих лучей;

λ_d – действительная длина волны оптического излучения;

$V_d = \frac{2V}{\lambda_d}$ – доплеровский сдвиг временной частоты зондирующей волны, возникающей при движении подвижного объекта;

V – скорость перемещения объекта;

m – коэффициент, зависящий от вида оптической схемы интерферометра и в общем случае определяемый количеством проходов оптического излучения

по трассе измерения: при одном проходе $m = \frac{1}{2}$.

Действительное значение перемещения представляется как произведение суммы накопленных электрических импульсов на численное значение длины волны излучения λ_d для данных условий измерения. Количество импульсов, накопленных за время движения,

определяется коэффициентом чувствительности и зависит от условия временного квантования.

Функциональная схема простейшего интерферометра представлена на рисунке 2 [2]. Излучение лазера 1 расщепляется светоделителем 2 в направлении отражателей 3 и 4. Измеряется перемещение отражателя 4. При его движении измеряется разность хода интерферирующих лучей, что регистрируется фотоприемником 5 с диафрагмой 6 и подсчитывается счетным устройством 7. Последнее включает частотомер, работающий в режиме счета импульсов, и аналоговый прибор для измерения дробной части интерференции.

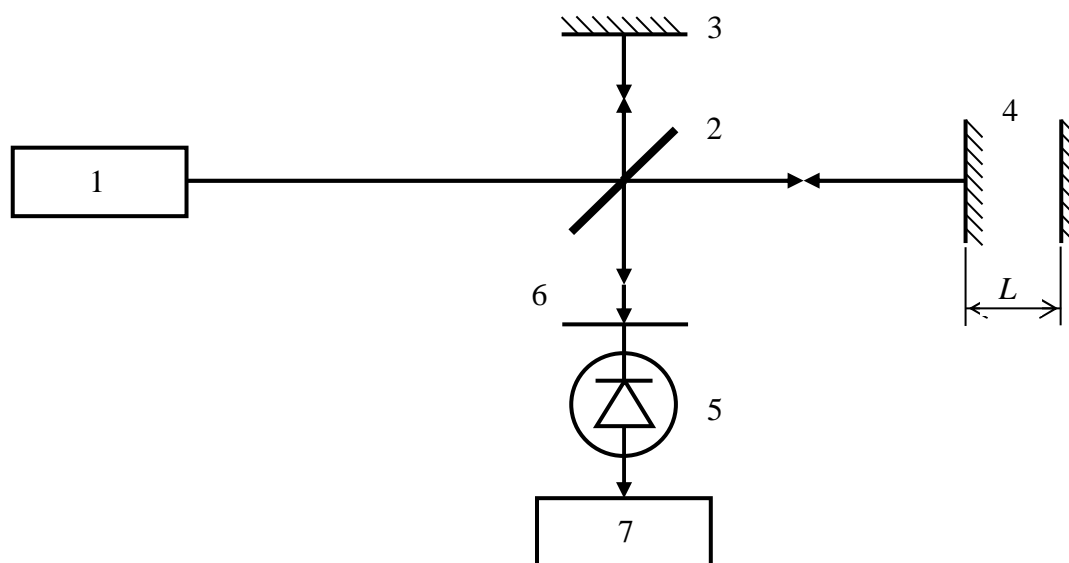


Рис. 2. Функциональная схема простейшего лазерного интерферометра

Наибольшее распространение в промышленности получили информационно-измерительные системы на основе гетеродинных лазерных интерферометров. Представителями этого класса информационно-измерительных систем, имеющих наиболее высокие метрологические характеристики, являются информационно-измерительные системы фирмы «Hewlett-Packard», отечественные системы ИПЛ-30К, ИПЛ-МП.

На рисунке 3 приведена оптическая схема информационно-измерительной системы ИПЛ-30К для двух автономно работающих измерительных каналов [3]. Оптическое излучение от источника 1 через систему оптических элементов 2 подают на светоделительный куб 3, который формирует два оптических канала, которые через систему оптических элементов 4 и поворотное зеркало 17 подают на измерительные оптические каналы. Каждый измерительный оптический канал представляет собой интерферометр Майкельсона, опорное плечо которого состоит из жестко связанных светоделителей 5, 18 и отражателей 8, 21. Измеряются перемещения подвижных отражателей 7, 20. Клинья 6, 19 и поворотные зеркала 9, 10 отклоняют измерительные лучи относительно опорных и после

коллиматоров 11, 22 угол между измерительным и опорным лучами равен углу дифракции. Поэтому после акустооптических модуляторов 12, 23 дифракционный максимум нулевого порядка измерительного луча интерферирует с максимумом дифракции первого порядка опорного луча. Коллиматоры 13, 24 увеличивают расхождение дифракционных лучей, что позволяет выделить диафрагмами 14, 25 дифракционные максимумы, не увеличивая габариты прибора. Фотоприемники 15, 26 выделяют на разностной частоте электрический измерительный сигнал, изменение значения фазы которого на период (2π рад.) соответствует перемещению отражателя на $\frac{\lambda}{2}$ мкм, который регистрируется электронными устройствами 16, 27.

Основу информационно-измерительной системы фирмы «Hewlett Packard» составляет двухчастотный лазер, излучение которого имеет две спектральные составляющие с разностью частот 1,8 МГц. Стабилизация частот осуществляется поддержанием равенства интенсивностей обоих частотных компонент излучения. Взаимная линейная ортогональная поляризация составляющих позволяет проводить их разделение.

Добиться требуемой точности измерения перемещений исполнительных элементов и узлов прецизионного технологического оборудования способны оптические информационно-измерительные системы с когерентным источником излучения и длиной электромагнитной волны $\lambda_b = 0,63$ мкм. Основой таких информационно-измерительных систем служит лазерный интерферометр линейных и угловых перемещений, принцип работы которого основан на явлении интерференции светового потока. Он позволяет иметь погрешности позиционирования (перемещений) в пределах $y_0 = (0.1...0.01)$ %, что делает оптические информационно-измерительные системы самыми точными и чувствительными. Обладая широким диапазоном преобразования $L_x > 60$ м и линейной выходной характеристикой, лазерные интерферометры надежно функционируют при линейных скоростях $K_d = 10$ м/мин исполнительных органов прецизионного оборудования и разрешающей способности в 5 нм.

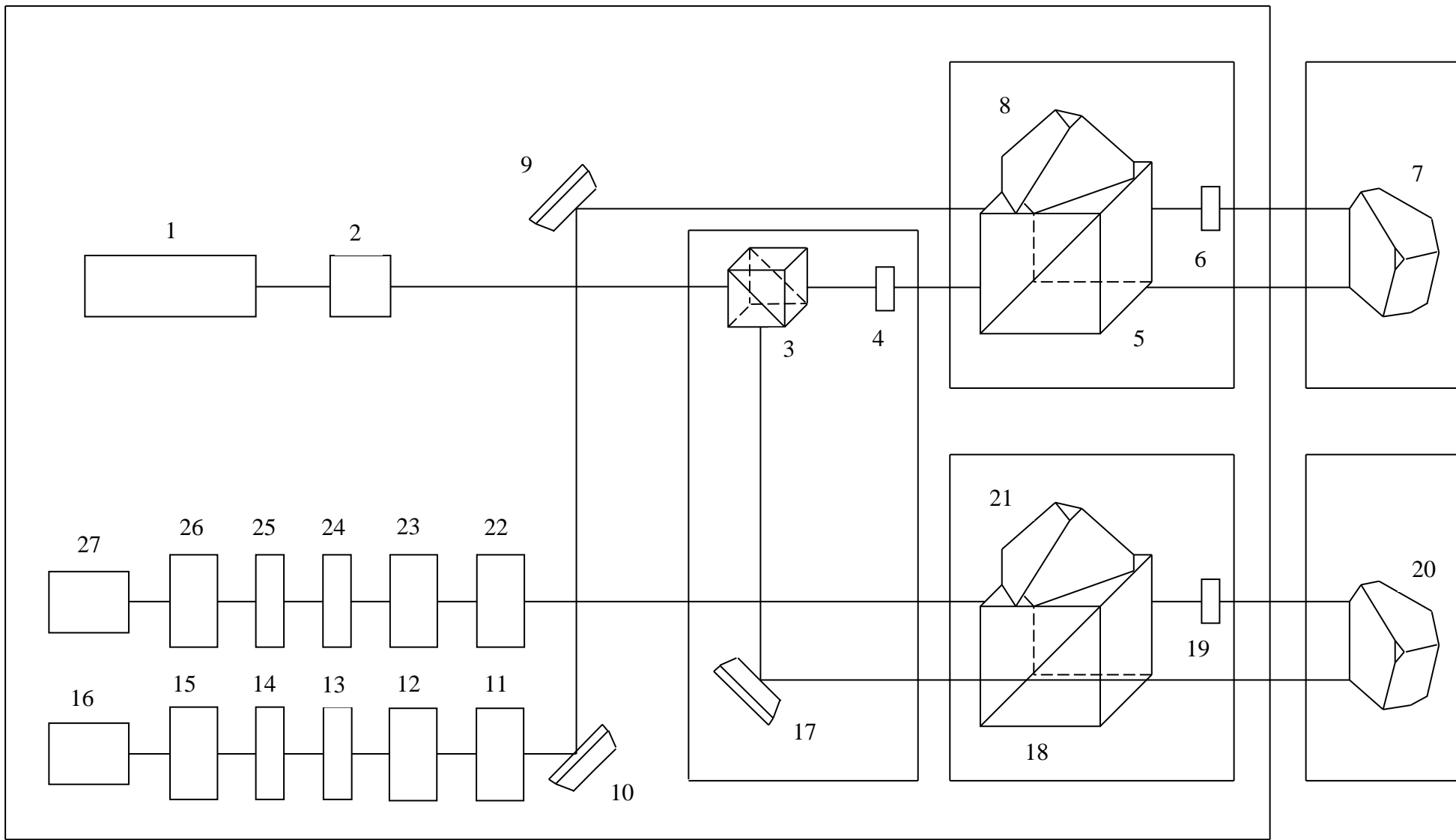


Рис. 3. Оптическая схема информационно-измерительной системы ИПЛ – 30К

Бесконтактный метод оптического измерения параметров движения объекта имеет бесспорные преимущества перед контактными методами, позволяет получить низкую динамическую погрешность лазерных информационно-измерительных систем.

Список литературы

1. Базыкин, С.Н. Проблемы информационного обеспечения систем с использованием оптоэлектронных средств измерения линейных перемещений / С.Н. Базыкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16173>.
2. Базыкин, С.Н. Информационно-измерительные системы на основе интерферометров: моногр. / С.Н. Базыкин; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Васильева. – Пенза: изд-во ПГУ, 2014. – 132 с.
3. Капезин, С.В. Пространственные реперные точки в гетеродинных лазерных интерферометрах / С.В. Капезин, С.Н. Базыкин, Н.А. Базыкина // Датчики и системы. – 2005. – № 10. – С. 19-20.
4. Коронкевич, В.П. Современные лазерные интерферометры перемещений / В.П. Коронкевич, В.А. Ханов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 181 с.
5. Порфирьев, Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах / Л.Ф. Порфирьев. – СПб.: Лань, 2013.
6. Телешевский, В.И. Основы теории и принципы построения акустооптических измерительных систем высокоточных станков: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Телешевский. – М., 1980.
7. Якушенков, Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения / Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2013.

Рецензенты:

Таранцева К.Р., д.т.н., профессор, проректор по научной работе Пензенского государственного технологического университета г. Пенза;

Ломтев Е.А., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» Пензенского государственного университета, г. Пенза.