

Об оценке качества контрольно-сортировочных автоматов

Я.Л. Либерман^{1а}, Л.Н. Горбунова^{2б}

¹ Уральский федеральный университет, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

² Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, Россия

^а Yakov_Liberman@List.ru, ^б Lubov202055 @yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6898-8690>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-6578-4374>

Статья поступила 06.11.2021, принята 13.01.2022

Рассмотрены преимущества использования быстродействующих контрольно-сортировочных автоматов в условиях массового производства, которые осуществляют контроль качества продукции по различным параметрам, сортировку годной продукции по группам и окончательную оценку возможности ее практического применения. Отмечено, что для эффективного использования контрольно-сортировочных автоматов, снабженных сложными механическими, электрическими и специальными логическими устройствами, необходимы меры по повышению их производительности, точности и надежности. Изложены принципы контроля и структура контрольно-сортировочного автомата как системы управления. Приведен анализ показателей качества контрольно-сортировочного автомата (точность, надежность, производительность). Рассмотрены виды отказов и категории надежности контрольно-сортировочного автомата (аппаратурная, точностная и режимная). Сформулирован обобщенный показатель качества контрольно-сортировочного автомата как системы управления, учитывающий точность, надежность, степень совершенства механизмов и устройств, входящих в него, а также характер распределения потребляемой мощности между операциями, выполняемыми при контроле и сортировке.

Ключевые слова: контрольно-сортировочный автомат; качество; отказ; точность; надежность.

About the evaluation of the quality of control and sorting machines

Ya.L. Liberman^{1а}, L.N. Gorbunova^{2б}

¹ Ural Federal University; 19, Mira St., Ekaterinburg, Russia

² Siberian Federal University; 79, Svobodny Ave., Krasnoyarsk, Russia

^а Yakov_Liberman@List.ru, ^б Lubov202055 @yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6898-8690>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-6578-4374>

Received 06.11.2021, accepted 13.01.2022

In the conditions of mass production, the advantages of using high-speed control and sorting machines, which carry out control of product quality in various parameters, sorting suitable products in groups and the final assessment of the possibility of its practical application, are considered. It is noted that for the effective use of control and sorting machines equipped with complex mechanical, electrical and special logic devices, measures are needed to increase their performance, accuracy and reliability. The principles of control and the structure of the control and sorting machine as a monitoring system are presented. An analysis of the quality indicators of the sorting machine, such as accuracy, reliability and productivity, is given. The types of failures and categories of reliability of the control and sorting machine, such as hardware, accuracy and regime, are considered. A generalized indicator of the quality of the control and sorting machine as a monitoring system, taking into account the accuracy, reliability, degree of perfection of mechanisms and devices included in it is formulated, as well as a character of the power consumption of power between operations performed during control and sorting is described.

Keywords: control and sorting machine; quality; failure; accuracy; reliability.

Введение. Одной из основных задач, стоящих перед современной техникой и ее дальнейшим развитием, являются разработка и осуществление мероприятий по повышению эффективности контроля качества, технического уровня и безопасности выпускаемой продукции, что связано с необходимостью повышения точности и надежности систем и приборов [1], используемых при контроле качества, а также с расширением производства автоматического оборудования с электронными и другими системами контроля [2–4].

Например, на пяти российских предприятиях: АО «Краслесинвест» и ООО «Приангарский ЛПК» в Красноярском крае, ООО «Илимпром» в Иркутской области, ООО «ТПК Восток-Ресурс» в Республике Удмуртия и ООО «Соломенский лесозавод» в Республике Карелия используется комплексная система качества, выполняющая функции сканирования пиломатериалов, поиска и измерения геометрии дефектов, назначения сорта, определения породы древесины и др.

Сегодня во многих отраслях промышленности все шире внедряются быстродействующие контрольно-сор-

тировочные автоматы, осуществляющие контроль качества выпускаемой продукции по различным параметрам в соответствии с требованиями нормативно-технической документации [5; 6], ее сортировку по группам и отбраковку некачественной продукции, использование которой может привести к отказам машин, авариям и даже человеческим жертвам.

Контрольно-сортiroвочные автоматы наиболее эффективны в массовом производстве, когда техническими условиями предусмотрены сплошной контроль качества выпускаемой продукции [7; 8], а также ее конкурентоспособность и надежность [9]. Без применения автоматов число контролеров ОТК в таком производстве составляет около 15 % общего числа рабочих. Это требует значительных расходов, повышающих себестоимость продукции, снижает производительность и достоверность контроля, так как работа контролеров-сортiroвщиков требует высокой концентрации внимания и сопровождается снижением производительности труда к концу смены более чем на 26 % при увеличении числа ошибок почти в пять раз. Внедрение же одного автомата, контролирующего и сортiroвующего 1 800 деталей в час, дает возможность высвободить до пяти контролеров, что снижает себестоимость контрольно-сортiroвочных операций, повышает их эффективность, избавляет людей от напряженного и монотонного труда.

Постановка задачи. Современные контрольно-сортiroвочные автоматы снабжены сложными механическими и электрическими устройствами для загрузки и транспортировки деталей, измерения параметров, переработки контрольной информации и т. д. [10; 11]. Многие из них оснащены специальными логическими устройствами. В связи с этим для эффективного использования контрольно-сортiroвочных автоматов необходимо принимать специальные меры для повышения их качества и, в частности, надежности [12; 13]. Это тем более необходимо, так как с помощью контрольно-сортiroвочных автоматов зачастую осуществляется контроль готовой продукции и производится окончательная оценка возможности ее практического применения.

Методы повышения качества контрольно-сортiroвочных автоматов сегодня, как правило, базируются на традиционных методах повышения их производительности, точности и надежности. Зачастую они оказываются действенными, однако не всегда. Бывает, что повышение производительности влечет за собой снижение точности, а повышение точности приводит к снижению надежности. Чтобы этого в определенной мере избежать, возникает необходимость в комплексном, обобщенном показателе, связывающем между собой отдельные показатели качества контрольно-сортiroвочного автомата.

Качество всякой машины, и контрольного автомата в том числе, нельзя оценивать безотносительно к области ее применения, к ответственности выполнения ею своего назначения. Очевидно, что контроль деталей, например, самолета — задача более ответственная, чем контроль деталей авторучки. Неудовлетворительное ка-

чество первых может иметь несоизмеримо более тяжелые последствия, чем вторых. Учитывать это должен и упомянутый комплексный показатель.

Решение задачи. В настоящей работе описывается разработка обобщенного показателя качества контрольно-сортiroвочного автомата в связи со всем изложенным выше. За основу взят подход, базирующийся на рассмотрении контрольно-сортiroвочного автомата как системы управления, что, по-видимому, сегодня наиболее продуктивно и дает возможность дальнейшего углубления разработки.

Методику для решения поставленной задачи рассмотрим в следующей последовательности:

- 1) принципы контроля и структура контрольно-сортiroвочного автомата как системы управления;
- 2) производительность, коэффициент полезного действия и обобщенный показатель контрольно-сортiroвочного автомата;
- 3) категории надежности контрольно-сортiroвочного автомата и их влияние на обобщенный показатель качества.

Надежность — это понятие, которое в наиболее общем случае имеет следующий смысл: свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять определенные задачи в определенных условиях эксплуатации [17]. Поскольку задачами КСА являются безошибочный контроль и сортiroвка, то надежность применительно к КСА — это, по существу, способность в определенных условиях правильно контролировать и сортiroвать определенные изделия [18].

Основным проявлением надежности КСА является отсутствие или возникновение отказов — событий, заключающихся либо в невыполнении контроля и сортiroвки (в остановках или холостых циклах КСА), либо в неправильном их выполнении (в ложной классификации или ложном адресовании изделия). В зависимости от причин возникновения отказы бывают трех категорий. К первой из них относятся отказы, вызванные неисправностями аппаратуры и механизмов КСА. Такие отказы называются аппаратурными. Ко второй категории относятся отказы, вызванные погрешностями контрольного устройства КСА. Их называют точностными. К третьей категории относятся отказы, вызванные интенсификацией режимов работы КСА (началом последующих операций до гарантированного завершения переходных процессов по окончании предыдущих операций). Эти отказы называются режимными.

Соответственно существуют и три категории надежности КСА — аппаратурная, точностная и режимная. Рассмотрим виды отказов и некоторые особенности указанных категорий надежности.

Как показывает опыт эксплуатации КСА, аппаратурные отказы подразделяются на два вида — самоустраняющиеся (их еще называют сбоями) и не самоустраняющиеся. Сбои обычно представляют собой ложные адресования изделий, порожденные самопроизвольными нарушениями и такими же восстановлениями работоспособности систем контроля и переработки контрольной информации в КСА. Характерным примером сбоев является временное залипание контактов реле, которое

приводит к попаданию изделия не в тот сортировочный отсек, в который требуется. Не самоустраняющиеся отказы представляют собой холостые циклы, остановки КСА и ложные адресования, порожденные значительными загрязнениями, заклиниваниями и поломками как систем контроля и переработки контрольной информации, так и различных механизмов КСА. Например, при заклинивании изделия во время его движения в загрузочном устройстве автомат срабатывает вхолостую, а при заклинивании или поломке устройства транспортирования изделий внутри автомата последний остановится, причем в том и другом случае для устранения отказа потребуются вмешательство наладчика.

Поскольку не самоустраняющиеся отказы охватывают большее число устройств, чем самоустраняющиеся, на первый взгляд кажется, что они в большей степени определяют надежность КСА, чем сбои. Однако в действительности это не так. При надлежащем техническом обслуживании и соблюдении системы планово-предупредительных ремонтов не самоустраняющиеся аппаратные отказы возникают редко, а те из них, которые приводят к ложному адресованию изделий, — весьма редко. Поэтому аппаратную надежность КСА в большинстве случаев определяют лишь сбои (отказы группы А1) либо сбои и не самоустраняющиеся отказы, не вызывающие ложных адресований (отказы группы А2).

Подобно аппаратным отказам, точностные отказы (отказы группы Т) также подразделяются на самоустраняющиеся и не самоустраняющиеся. Самоустраняющиеся отказы обычно бывают вызваны случайными погрешностями системы контроля КСА, а не самоустраняющиеся — систематическими, однако все точностные отказы выражаются одинаково — в ложной классификации изделий.

Что касается режимных отказов, то они представляют собой, как правило, только сбои, которые выражаются либо в холостых циклах КСА, либо в ложных адресованиях. При этом первые (отказы группы Р2) в подавляющем большинстве случаев вызваны непопаданием изделий в захватные элементы загрузочного устройства автомата или недостаточной производительностью механизмов транспортирования изделий внутри КСА, а вторые (отказы группы Р1) происходят в результате преждевременного попадания изделия в механизм разводки по сортировочным отсекам.

Таковы виды отказов и особенности надежности КСА. Нетрудно заметить, что отказы групп А2 и Р2 определяют продолжительность внецикловых потерь времени, а отказы групп А1, Т, Р1 — технологическую надежность КСА, поскольку обычно под технологической надежностью рабочей машины понимают ее способность выпускать годную продукцию в течение заданного времени [19], а для КСА «годная продукция» — работа без ложной классификации и ложного адресования. Внецикловые потери - это $t_{ВП}$, а технологическая надежность — $P_{ТХ}$, поэтому рассмотрим далее зависимость $Q_{П}$ от $t_{ВП}$ и $P_{ТХ}$. Очевидно, что с уменьшением $t_{ВП}$ величина $Q_{П}$ возрастает. Причем чем выше общее качество автомата, тем больше влияет снижение $t_{ВП}$ на рост $Q_{П}$ (рис. 1, а).

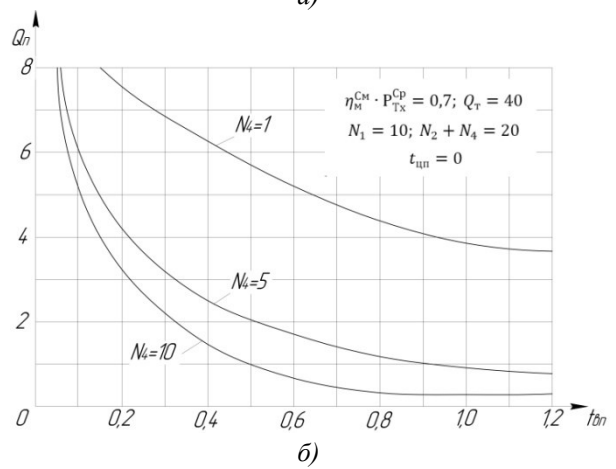
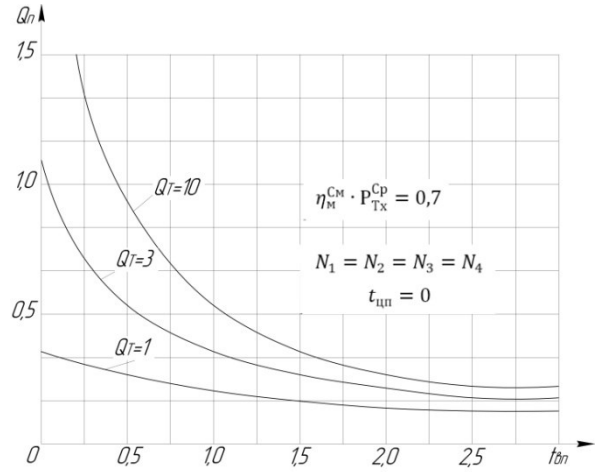


Рис. 1. Влияние внецикловых потерь на приведенную производительность контрольно-сортировочного автомата

Тем не менее, в ряде случаев снижение $t_{ВП}$ вступает в противоречие с другими путями увеличения $Q_{П}$. Это наблюдается, в частности, при повышении $Q_{П}$ путем рационального распределения потребляемой мощности КСА. Совершенно ясно, что общую мощность $\sum N_i$ (i изменяется от 1 до 4), потребляемую КСА, целесообразно расходовать преимущественно на контроль и сортировку, т. е. увеличивать $N_1/\sum N_i$ (рис. 2, а). Величина $N_2 + N_3 + N_4$ должна быть как можно меньше, и распределяться на слагаемые она должна так, чтобы большим из $t_k + t_a$, $t_{цп}$ и $t_{ВП}$ соответствовали меньшие составляющие $N_2 + N_3 + N_4$ (рис. 2, б). Но, в таком случае, большим $t_{ВП}$ должны соответствовать малые N_4 , и чем меньше N_4 , тем менее эффективно снижение $t_{ВП}$ (рис. 1, б). В этом и состоит отмеченное выше противоречие.

При увеличении $P_{ТХ}$ величина $Q_{П}$ возрастает так же, как и при уменьшении $t_{ВП}$. Чем выше общее качество КСА, тем влияние увеличения $P_{ТХ}$ на рост $Q_{П}$ существеннее (рис. 3). Однако никаких противоречий с другими методами превышения $Q_{П}$ в данном случае не возникает. Это, а также то, что пути повышения технологической надежности КСА менее изучены, чем пути сокращения $t_{ВП}$, заставляет обратить более пристальное внимание на исследование путей повышения $P_{ТХ}$.

Выводы. В настоящее время для повышения технологической надежности КСА используют, в основном, два направления — повышение аппаратурной и точностной надежности элементов и резервирование. Оба эти направления себя еще не исчерпали, тем не менее, возникла необходимость поиска новых путей повышения $P_{ТХ}$. Некоторые из них, найденные, в частности, на основе применения новых методов информационной теории измерений, теории связи, а также интерпретации КСА как разомкнутой позиционной системы программного управления, сегодня уже намечены и развиваются [20; 21]. И облегчить их практическую реализацию в комплексе с остальными характеристиками КСА, по-видимому, поможет сформулированный в настоящей работе обобщенный критерий качества автоматов.

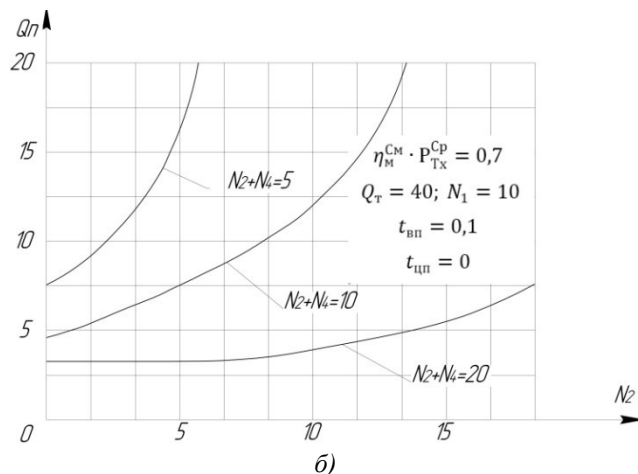
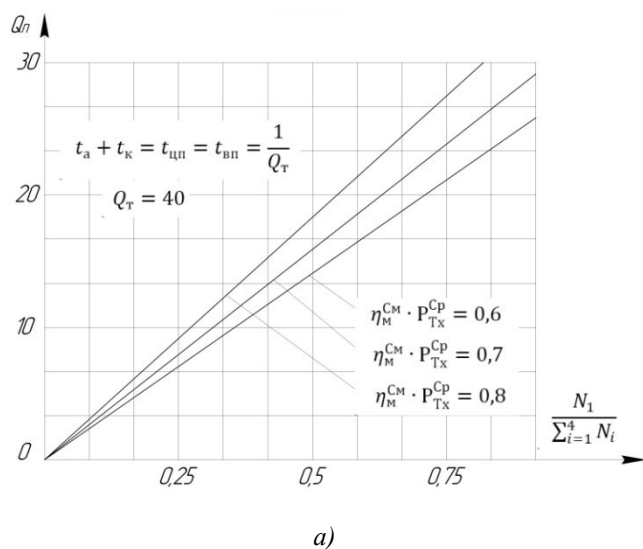


Рис. 2. Зависимость приведенной производительности КСА от распределения потребляемой мощности

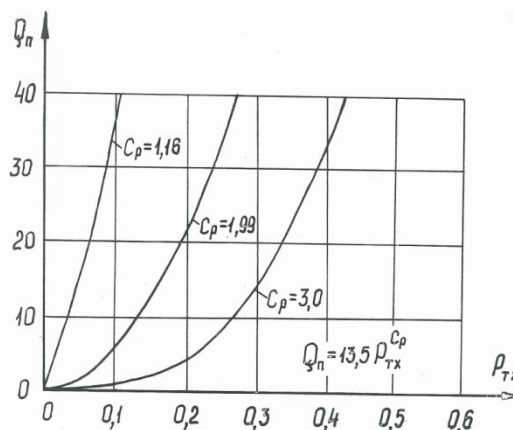


Рис. 3. Влияние технологической надежности КСА на приведенную производительность

Литература

1. Подмастерьев К.В. Точность измерительных устройств. Орел: ОрелГТУ, 2004. 140 с.
2. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 352 с.
3. Громаков Е.И., Каранкевич А.Г. Проектирование систем управления для гибких автоматизированных производств. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. 152 с.
4. Маликов О.В. Склады гибких автоматических производств. Л.: Машиностроение, 1986. 183 с.
5. Кириллов В.И. Метрологическое обеспечение технических систем. М.: ИНФРА-М, 2013. 700 с.
6. Liu X., Peng K., Chen Z. A New Capacitive Displacement Sensor With Nanometer Accuracy and Long Range // IEEE Sensors Journal. 2016. V. 16, iss. 8. P. 2306-2316.
7. Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация. М.: ИНФРА-М, 2017. 431 с.
8. Зайцев С.А., Толстов А.А., Куранов А.Д. Нормирование точности. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
9. Серебренникова А.Г., Панова Е.А. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 391 с.
10. Воронцов Л.Н., Корндорф С.Ф., Трутень В.А., Федотов А.В. Теория и практика контрольных автоматов. М.: Высш. школа, 1980. 560 с.

11. Галибей Н.И. Прикладная механика автоматических систем. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1988. 436 с.
12. Babu A., George B. Design and Development of a New Non-Contact Inductive Displacement // IEEE Sensors Journal. 2017. V. 18, iss. 18. P. 976-984.
13. Cheredov A.I., Shchelkanov A.V. Displacement sensors with frequency output based on helical instability // 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. Omsk, 2014. P. 1-4.
14. Бежанов Б.Н., Бушунов В. Производственные машины - автоматы. Л.: Машиностроение, 1973. 359 с.
15. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 640 с.
16. Сорочкин Б.М., Богданов Э.О. Автоматизация многодиапазонной сортировки. Л.: Машиностроение, 1973. 175 с.
17. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.
18. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. 21 с.
19. Ольштейн Я.А. Надежность автоматов для контроля линейных размеров. М.: Машиностроение, 1979. 142 с.
20. Либерман Я.Л. Повышение технологической надежности контрольно-сортировочных автоматов. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1990. 132 с.
21. Новицкий П.В., Зограф И.А., Лабунец В.С. Динамика погрешностей средств измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 192 с.

References

1. Podmaster'ev K.V. Accuracy of measuring devices. Orel: OrelGTU, 2004. 140 p.
2. SHishmarev V.YU. Automation of technological processes. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005. 352 p.
3. Gromakov E.I., Karankevich A.G. Design of control systems for flexible automated production. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo un-ta, 2008. 152 p.
4. Malikov O.V. Warehouses of flexible automatic production. L.: Mashinostroenie, 1986. 183 p.
5. Kirillov V.I. Metrological support of technical systems. M.: INFRA-M, 2013. 700 p.
6. Liu X., Peng K., Chen Z. A New Capacitive Displacement Sensor With Nanometer Accuracy and Long Range // IEEE Sensors Journal. 2016. V. 16, iss. 8. P. 2306-2316.
7. Kolchikov V.I. Metrology, standardization and certification. M.: INFRA-M, 2017. 431 p.
8. Zajcev S.A., Tolstov A.A., Kuranov A.D. Normalization of accuracy. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2004. 256 p.
9. Serebrennikova A.G., Panova E.A. Technological quality assurance of machine-building products. Staryj Oskol: TNT, 2016. 391 p.
10. Voroncov L.N., Korndorf S.F., Truten' V.A., Fedotov A.V. Theory and practice of control automata. M.: Vyssh. shkola, 1980. 560 p.
11. Galibej N.I. Applied mechanics of automatic systems. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 1988. 436 p.
12. Babu A., George B. Design and Development of a New Non-Contact Inductive Displacement // IEEE Sensors Journal. 2017. V. 18, iss. 18. P. 976-984.
13. Cheredov A.I., Shchelkanov A.V. Displacement sensors with frequency output based on helical instability // 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. Omsk, 2014. P. 1-4.
14. Bezhanov B.N., Bushunov V. Production machines - automatic machines. L.: Mashinostroenie, 1973. 359 p.
15. SHaumyan G.A. Complex automation of production processes. M.: Mashinostroenie, 1973. 640 p.
16. Sorochkin B.M., Bogdanov E.O. Automation of multirange sorting. L.: Mashinostroenie, 1973. 175 p.
17. Kapur K., Lamberson L. Reliability and design of systems. M.: Mir, 1980. 604 p.
18. Voskoboev V.F. Reliability of technical systems and technogenic risk. M.: OOO ID «Al'yans», 2008. 21 p.
19. Ol'shtejn YA.A. Reliability of automatic machines for control of linear dimensions. M.: Mashinostroenie, 1979. 142 p.
20. Liberman YA.L. Improving the technological reliability of control and sorting machines. Sverdlovsk: Izd-vo UrGU, 1990. 132 p.
21. Novickij P.V., Zograf I.A., Labunec V.S. Dynamics of errors of measuring instruments. L.: Energoatomizdat, 1990. 192 p.