

Об оценке качества контрольно-сортировочных автоматов.

Часть I

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

¹ Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, 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 12.11.2021

Рассмотрены преимущества использования быстродействующих контрольно-сортировочных автоматов в условиях массового производства. Автоматы осуществляют контроль качества продукции по различным параметрам, сортировку годной продукции по группам и окончательную оценку возможности ее практического применения. Отмечено, что для эффективно-го 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, учитывающей 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.

On assessment of the quality of control and sorting machines.

Part I

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

¹ Ural Federal University named after B.N. Yeltsin; 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 12.11.2021

The advantages of using high-speed control and sorting machines used in mass production are considered. These machines control the product quality according to various parameters, sort out a variety of suitable products into groups and make the final assessment of the possibility of product practical application. It is noted that for the efficient use of control and sorting machines equipped with complex mechanical, electronic 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 control system are presented. An analysis of the quality indicators of the control and sorting machine (accuracy, reliability, productivity) is given. Considered types of failures and categories of reliability of the sorting machine (hardware, accuracy and regime). A generalized indicator of the quality of the control and sorting machine as a control system that takes into account the accuracy, reliability, the degree of perfection of the mechanism and devices included in it, as well as the nature of the distribution of power consumed between operations performed during control and sorting are formulated.

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 Удмур-

тия 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-сортировочные 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-сортировочные автоматы наиболее эффективны в массовом производстве, когда техническими условиями предусмотрен 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-сортировщиков 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 сортирующего 1 800 деталей в час, дает возможность высвободить до пяти контролеров, что снижает себестоимость контрольно-сортировочных операций, повышает их эффективность, избавляет людей от напряженного и монотонного труда.

Постановка задачи. Современные контрольно-сортировочные 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-сортировочных автоматов необходимо принимать специальные меры для повышения их качества и, в частности, надежности [12; 13]. Это тем более необходимо, так как с помощью контрольно-сортировочных автоматов зачастую осуществляется контроль готовой продукции и производится окончательная оценка возможности ее практического применения.

Методы повышения качества контрольно-сортировочных 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-сортировочного 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 качество 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-сортировочного автомата в связи со всем изложенным выше. За основу взят подход, базирующийся на рассмотрении контрольно-сортировочного автомата как системы управления, что, по-видимому, сегодня наиболее продуктивно и дает возможность дальнейшей углубления разработок.

Методику для решения поставленной задачи рассмотрим в следующей последовательности:

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

1. Принципы контроля и структура контрольно-сортировочного автомата как системы управления. Согласно стандарту РМГ 29–99, свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта, называется физической величиной. Когда хотят подчеркнуть математический смысл физической величины, вместо этого термина употребляют термин «параметр», что означает некоторую «переменную», принимающую при определенных условиях постоянное значение.

Физические величины или параметры, встречающиеся в практике, чрезвычайно разнообразны. К ним, например, относятся геометрические размеры, твердость, масса и шероховатость поверхности изделий, полученных обработкой резанием; влажность, температура и давление воздуха; активное и реактивное сопротивление электрических проводников и др. Однако, несмотря на разнообразие, все физические величины и параметры характеризуются одинаково — своими значениями, с помощью которых и производится контроль.

Различают три вида указанных значений: истинное, действительное и нормативное. Под истинными значениями физических величин или контролируемых параметров в соответствии со стандартом РМГ 29–99 понимаются такие значения, которые идеальным образом отражали бы в качественном и количественном отношении соответствующие свойства объекта. Действительные значения физических величин или параметров, по этому же стандарту, представляют собой значения, найденные экспериментальным путем и настолько приближающиеся к истинным, что могут быть использованы вместо них. Что же касается нормативных значений физических величин или параметров, то для них

определение в стандарте отсутствует, но на практике под ними имеют в виду значения, которые предписаны соответствующим документом, например, чертежом или техническими условиями, и в качественном и в количественном отношениях отражают требуемые свойства объекта.

Как следует из законов природы, установить истинное значение контролируемого параметра никакими способами невозможно. Действительное же значение можно найти путем измерения, поскольку, как отмечает указанный стандарт, измерение представляет собой «нахождение значения физической величины опытным путем с помощью технических средств».

Учитывая это, под контролем обычно понимают совокупность следующих трех операций: измерения некоторой физической величины или параметра объекта, сравнение действительного значения этого параметра с нормативным значением и формирования суждения о наличии или отсутствии требуемого свойства объекта.

Суждение при контроле может формироваться по-разному, в простейшем случае — согласно выражениям:

$$\begin{aligned} X_1 = 0 < X \leq X_2 &\rightarrow A_1 \\ X_2 < X < X_3 = \infty &\rightarrow A_2, \end{aligned} \quad (1)$$

в более сложном случае — в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} X_1 = -\infty < X \leq X_2 &\rightarrow A_1 \\ X_2 < X \leq X_3 &\rightarrow A_2 \\ X_3 < X < X_4 = +\infty &\rightarrow A_3, \end{aligned} \quad (2)$$

в еще более сложном — в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} X_1 < X \leq X_2 &\rightarrow A_1 \\ X_2 < X \leq X_3 &\rightarrow A_2 \\ X_k < X \leq X_{k+1} &\rightarrow A_k \\ X_{n-1} < X \leq X_n &\rightarrow A_{n-1} \end{aligned} \quad (3)$$

В этих выражениях X — действительное значение контролируемого параметра; X_1, X_2 и т. д. — нормативные значения этого параметра; A_1, A_2 и т. д. — обозначения различных суждений; \rightarrow — знак логического следствия. Если контроль ведется с использованием выражения (1), то его называют допусковым однопределным. Так контролируют, например, несоосность отверстий, неперпендикулярность различных поверхностей и т. п. Если используется (2), то контроль называют допусковым двухпределным. Он применяется, в частности, для таких параметров, как погрешность длины или диаметра деталей, избыточное давление и пр. Если же используется (3), то контроль называют многодиапазонным или многоинтервальным и применяют его для тех же параметров, что и допусковый двухпределный. При этом нормативные значения контролируемого параметра называют граничными, разность между двумя соседними граничными значениями именуют шириной интервала контроля или классификации, а сам интервал обозначают $[X_k, X_{k+1}]$.

Все перечисленные разновидности контроля могут быть реализованы на практике в виде систем контроля,

представляющих собой совокупность средств, с помощью которых производятся контрольные и сопутствующие им (например, установочные) операции.

Системы контроля могут быть неавтоматизированные, полуавтоматические и автоматические. В первых из них более 50 % общего времени, необходимого для выполнения контроля, расходуется на ручные операции. Такие системы малопродуктивны и используются, главным образом, для допускового контроля. В полуавтоматических системах доля ручных операций составляет 5–50 %, в автоматических — менее 5 %. Многодиапазонный контроль в подавляющем большинстве случаев ведется с помощью именно этих систем, поскольку их производительность значительно выше, чем у неавтоматизированных систем.

Характерной особенностью систем контроля является представление суждения в форме сигнала. В неавтоматизированных системах, где операции сравнения и формирования суждения выполняются человеком, это может быть естественная человеческая речь, в полуавтоматических и автоматических системах — определенное изменение электрического тока, напряжения, загорание лампочки и т. п. В общем же случае, сигналом может служить всякое обусловленное (заранее договоренное) изменение состояния материальной среды, способное распространяться в пространстве. Распространение сигнала в пространстве называется его передачей. В результате передачи сигнал может тем или иным образом воздействовать на различные устройства. Если это воздействие является преднамеренным и обеспечивает целенаправленное функционирование устройства, то оно называется управлением, а само устройство — объектом управления. Понятие объекта управления принципиально отличается от понятия объекта контроля. В то время как в объекте контроля процесс контроля никаких изменений не вызывает, в объекте управления под воздействием сигнала изменения происходят обязательно, чем и достигается его целенаправленное функционирование.

Одним из наиболее распространенных видов объектов управления являются рабочие машины — устройства, построенные на основе механизмов и предназначенные для преобразования состояния, свойств, формы или для перемещения предметов труда человека. Перемещение по заданному маршруту называют адресованием, а машины, осуществляющие такое перемещение, — адресующими. Если адресование производится по специальным отсекам с целью разбиения партии объектов контроля на классы, такие, что любым двум объектам одного класса соответствуют одинаковые, а любым двум объектам разных классов — различные суждения, сформированные системой контроля, то имеет место частный случай адресования, называемый сортировкой, и адресующие машины называют сортировочными.

Подобно системам контроля, сортировочные машины могут быть неавтоматизированными, полуавтоматическими и автоматическими. В неавтоматизированных машинах управление сортировкой практически полностью ручное. В полуавтоматических машинах оно происходит без участия человека, который только загружает изделия, подлежащие сортировке, готовит

машину к работе и пр. В автоматических же сортировочных машинах без участия человека осуществляется как управление сортировкой, так и загрузка машины, а вручную выполняется только общая подготовка машины к работе, регулировка и т. п.

Если объединить систему контроля с сортировочной машиной, то можно получить единый агрегат, выполняющий и контроль, и сортировку. Такой агрегат, являющийся, по существу, системой управления, в которой функции управляющего устройства реализуются системой контроля, называют контрольно-сортировочной машиной и в самом общем виде представляют с помощью блок-схемы (см. рисунок), где СК — система контроля; СМ — сортировочная машина; СО — сортировочные отсеки СМ. Широкие стрелки символизируют перемещение изделий, подлежащих контролю и сортировке, а узкие стрелки обозначают ввод нормативного значения (НЗ) контролируемого параметра и передачу сигнала (УС), соответствующего результатам контроля и управляющего сортировкой. В случае, когда перемещение изделий и передача сигнала между составными частями контрольно-сортировочной машины производится с участием человека, то машину, в зависимости от степени автоматизации контроля и сортировки, называют неавтоматизированной или полуавтоматической. Если же для перемещения изделий и передачи сигнала участие человека не требуется, причем составные части машины автоматические, то всю контрольно-сортировочную машину в целом также называют автоматической или контрольно-сортировочным автоматом (КСА).

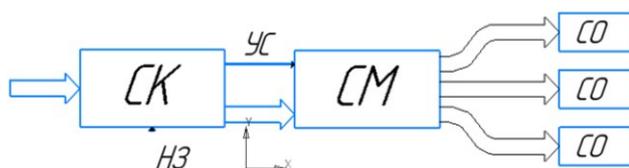


Рис. 1 Блок-схема контрольно-сортировочной машины

Рассматривая КСА как систему управления, трудно его идентифицировать как вполне конкретную разновидность таких систем. Так, если по характеру функционирования классифицировать все системы управления на стабилизирующие, следящие и системы программного управления, то КСА правомерно отнести к последним, поскольку адресование объектов в тот или иной сортировочный отсек происходит в них всегда определенным образом по сигналам, соответствующим определенным фиксированным значениям контролируемого параметра, играющего роль программы. Если подразделять все системы программного управления по характеру перехода из состояния в состояние на функциональные и позиционные, а по наличию обратной связи (ОС) — на разомкнутые и замкнутые, то, очевидно, КСА — это позиционная разомкнутая система, так как переход из состояния в состояние в нем происходит без управления законом перехода, а обратная связь между сортировочной машиной и системой контроля отсутствует, хотя при необходимости может быть и введена.

2. *Производительность, коэффициент полезного действия и обобщенный показатель контрольно-сортировочного автомата.* Для характеристики качества КСА чаще всего применяют следующие показатели: точность, надежность, производительность.

Производительность КСА обычно представляют как способность контролировать и сортировать определенное количество изделий за определенное время и выражают в штуках в час с помощью периода времени, необходимого для осуществления одного рабочего цикла. Вообще в КСА, подобно тому, как это принято в других рабочих машинах [14], можно выделить несколько видов циклов:

– технологический — последовательность всех операций и переходных процессов между ними, периодически повторяющихся при контроле и сортировке одного изделия;

– рабочий — совокупность операции и переходных процессов, периодически повторяющихся при контроле и сортировке изделий, одновременно находящихся в КСА, и др.

Производительность КСА определяется именно временем рабочего цикла, которое может быть выражено как:

$$T_p = (\sum t_i)_{\max}, \quad (4)$$

где t_i — длительность операций и переходных процессов, принадлежащих одному отрезку технологического цикла, состоящему из операций и процессов, не совмещенных во времени.

Если из рабочего цикла КСА выделить операции контроля и адресования проконтролированных изделий в сортировочные отсеки, для выполнения которых автомат специально и создается, то, обозначив время контроля t_k и не совмещенное с ним время адресования t_a , можно записать:

$$T_p = t_k + t_a + t_{\text{цп}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{цп}}$ — цикловые непроизводительные потери времени (потери на холостые движения механизмов автомата, переходные процессы и т. п.).

В зависимости от цикловых потерь различают два вида производительности КСА — цикловую и технологическую. Согласно теории производительности машин и труда, разработанной проф. Г.А. Шаумяном [15], цикловая производительность применительно к КСА представляет собой количество изделий, контролируемое и сортируемое автоматом в единицу времени при непрерывной его работе. Эта производительность определяется при реальных $t_{\text{цп}}$ по формуле:

$$Q_{\text{ц}} = (1/T_p) = 1/(t_k + t_a + t_{\text{цп}}) \quad (6)$$

и для большинства современных КСА колеблется в пределах от 300 до 20 000 шт./ч и более, в зависимости от сложности и массивности сортируемых изделий. Технологическая же производительность представляет собой количество изделий, контролируемое и сортируемое автоматом в единицу времени не только при непрерывной его работе, но и при $t_{\text{цп}} = 0$, т. е. при от

сутствии цикловых потерь. Определяется она по формуле:

$$Q_T = 1/(t_k + t_a) \quad (7)$$

и для большинства КСА равна 15000–26000 шт./ч, что показывает предел производительности, которого можно достичь, если ликвидировать цикловые потери.

Чем ближе $Q_{Ц}$ и Q_T , тем лучше организован рабочий цикл КСА. Поэтому, наряду с величинами $Q_{Ц}$ и Q_T , для характеристики производительности КСА применяют также их отношение:

$$\eta_T = Q_{Ц}/Q_T = 1/(1 + Q_T \cdot t_{ЦП}), \quad (8)$$

называемое коэффициентом использования технологической производительности КСА или цикловым коэффициентом непрерывности контроля и сортировки.

Коэффициент η_T изменяется от 0 до 1 и совместно с $Q_{Ц}$ позволяет оценивать и сопоставлять различные конструктивные варианты КСА. Однако ни он, ни $Q_{Ц}$ не дают возможности учесть простои автомата — периоды времени, когда операции, входящие в рабочий цикл КСА, не производятся. Между тем, в результате простоев производительность КСА в реальных производственных условиях оказывается существенно (иногда на 25–40 %) ниже $Q_{Ц}$, что нельзя оставить без внимания. В связи с этим производительность КСА характеризуют еще и величиной, которая называется фактической производительностью и представляет собой среднее количество изделий, контролируемое и сортируемое автоматом в единицу времени с учетом простоев. Если длительность простоев, приходящаяся в среднем на одно контролируемое изделие, рассматривать как некоторую условную добавку к T_p , то фактическую производительность можно определить по формуле:

$$Q_{Ф} = 1/(t_k + t_a + t_{ЦП} + t_{ВП}) = \eta_{Ц} \cdot Q_{Ц} = \eta_0 \cdot Q_T, \quad (9)$$

где $t_{ВП}$ — указанная добавка, называемая внецикловыми непроизводительными потерями; $\eta_{Ц}$ — величина, подобная η_T и называемая коэффициентом использования цикловой производительности КСА [16]:

$$\eta_{Ц} = 1/[1 + (Q_{Ц} \cdot t_{ВП})], \quad (10)$$

где η_0 — величина, называемая общим коэффициентом непрерывности контроля и сортировки:

$$\eta_0 = \eta_T \cdot \eta_{Ц} = 1/[1 + Q_T (t_{ЦП} + t_{ВП})] \quad (11)$$

Полагая, что $t_{ВП} = \sum t_j$, где t_j — средняя длительность простоев КСА по J -й причине (например, из-за ремонтов, перерывов в подаче изделий в КСА, из-за настройки, смазки и пр.), с помощью формул (9)–(11) и оценивают общее снижение производительности КСА из-за простоев. С помощью величин, входящих в эти формулы, можно определить и коэффициент полезного действия КСА.

Коэффициент полезного действия КСА является разновидностью коэффициента полезного действия рабочих машин, введенного в употребление Г.А. Шаумяном, и связывает между собой точность, надежность, технологическую производительность и энергетические характеристики КСА. Используя метод, предложенный Г.А. Шаумяном при определении КПД ма-

шин с не совмещенными операциями, КПД КСА можно представить как :

$$\eta_{КСА} = A_{П}/A_0 = [A_5 (M - m)]/[(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) M], \quad (12)$$

где $A_{П}$ — полезные затраты энергии на контроль и сортировку партии изделий объемом M ; A_0 — общие затраты энергии на контроль и сортировку указанной партии; m — количество неправильно рассортированных или неопознанных изделий из партии; A_1 — полная энергия, расходуемая на один рабочий цикл КСА на контроль и сортировку; A_2 и A_3 — энергия, расходуемая за один рабочий цикл на переходные процессы и операции, совмещенные и не совмещенные во времени с контролем и сортировкой; A_4 — затраты энергии, сопряженные с внецикловыми потерями времени (с холостыми циклами и остановами КСА для коррекции настройки, ремонтов и пр.); A_5 — полезная энергия, затраченная за один рабочий цикл непосредственно на контроль и сортировку (она равна энергии A_1 за вычетом потерь на трение, нагрев и т. п.).

Если учесть, что:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = N_1 (t_k + t_a) + N_2 (t_k + t_a) + N_3 \cdot t_{ЦП} + N_4 \cdot t_{ВП}$$

и:

$$A_5 = N_5 (t_k + t_a), \quad (13)$$

где N_1 – N_5 — средние мощности, соответствующие затратам энергии A_1 – A_5 , то (12) можно записать как:

$$\eta_{КСА} = [N_5 (t_k + t_a) (M - m)]/[N_1 (t_k + t_a) + N_2 (t_k + t_a) + N_3 \cdot t_{ЦП} + N_4 \cdot t_{ВП}] M]$$

или, разделив числитель и знаменатель на $M \cdot N_1 (t_k + t_a)$, как:

$$\eta_{КСА} = (N_5/N_1) (M - m)/M]/[1 + (N_2/N_1) + (N_3/N_1) \cdot t_{ЦП}/(t_k + t_a) + N_4/N_1 t_{ВП}/(t_k + t_a)],$$

где $N_5/N_1 = \eta_M$ — общепринятый КПД механизмов и электрической, пневматической или гидравлической аппаратуры КСА, непосредственно участвующих в контроле и сортировке; $(M - m)/M = P_{ТХ}$ — показатель технологической надежности КСА, представляющий собой вероятность работы КСА без ложной классификации и ложного срабатывания изделий; $1/(t_k + t_a) = Q_T$ — технологическая производительность КСА.

Поэтому в окончательном виде:

$$\eta_{КСА} = (\eta_M \cdot P_{ТХ})/\{1 + (Q_T/N_1) [N_2/(t_k + t_a) + N_3 \cdot t_{ЦП} + N_4 \cdot t_{ВП}]\}. \quad (14)$$

Нетрудно заметить, что полученное выражение представляет собой несколько видоизмененный общий коэффициент непрерывности контроля и сортировки η_0 , учитывающий надежность и точность КСА (последняя охватывается понятиями точностной, а следовательно, и технологической) надежности, а также степень совершенства механизмов и аппаратуры КСА и характер распределения потребляемой мощности между операциями, выполняемыми КСА. В частном случае при $\eta_M \cdot P_{ТХ} = 1$, $N_2 = 0$, $N_1 = N_3 = N_4$ коэффициент $\eta_{КСА}$ вообще совпадает с η_0 . Это наталкивает на мысль об использовании КПД КСА для определения обобщенного показателя качества автомата. Проще всего за ука

занный показатель, в соответствии с формулой (9) и со сходимостью $\eta_{КСА}$ и η_0 , принять значение $\eta_{КСА} Q_T$, однако в таком случае значимость каждого из показателей качества, входящих в $\eta_{КСА} Q_T$, будет одинаковой. Между тем, на практике эта значимость различна, что проявляется обычно в стремлении проектировщиков, прежде всего, увеличивать надежность и точность КСА, затем повышать производительность и сокращать потребляемую мощность, а затем уже повышать КПД механизмов и пр. В связи с этим использовать $\eta_{КСА} Q_T$ непосредственно как обобщенный показатель качества КСА нельзя. Однако, если ввести в это выражение коэффициенты C_M и C_P , учитывающие значимость η_M и $P_{ТХ}$, обусловленные требованиями к механизмам и аппаратуре КСА и степенью ответственности сортируемых изделий или последствиями от их ложной классификации и ложной сортировки, то полученная так называемая

приведенная производительность КСА таким показателем может являться. Полагая, что одни и те же приращения η_M и $P_{ТХ}$ более ценны при малых η_M и $P_{ТХ}$, чем при больших, коэффициенты C_M и C_P следует ввести в показатели степени при η_M и $P_{ТХ}$, что позволяет записать приведенную производительность КСА как:

$$Q_{П} = \eta^{C_M} \cdot (P_{ТХ})^{C_P} \cdot Q_T / \{1 + (Q_T/N_1) [N_2 / (t_k + t_a) + N_3 \cdot t_{ЦП} + N_4 \cdot t_{ВП}]\}. \quad (15)$$

Придавая C_M значения в диапазоне от 0 до 1 (табл. 1), а C_P — больше 1 (табл. 2), и рассчитывая $Q_{П}$, можно оценивать качество КСА, полагая, что чем больше $Q_{П}$, тем автомат лучше. При этом нетрудно установить и степень влияния величин, входящих в (15), на $Q_{П}$ и, в частности, величин, характеризующих надежность КСА.

Таблица 1. Значения коэффициента C_M

Вид энергии, потребляемой контрольно-сортировочным автоматом	Коэффициент, C_M
Только электроэнергия	0,57
Электрическая и энергия сжатого воздуха	0,71
Только энергия сжатого воздуха	1,0

Примечание. Значения C_M получены расчетно-аналитическим методом на основе стоимости электропотребления автоматов

Таблица 2. Значения коэффициента C_P

Группы машин, в которых используются сортируемые изделия	Коэффициент C_P
Машины, выход которых из строя может повлечь за собой гибель большого количества людей и большой экономический ущерб (например, пассажирский и железнодорожный транспорт)	3,0
Машины, выход которых из строя может повлечь за собой отдельные человеческие жертвы и большой экономический ущерб (например, оборудование металлургических заводов, нефтегазодобывающей промышленности)	2,35
Машины, выход которых из строя может повлечь за собой отдельные человеческие жертвы и умеренный экономический ущерб (например, автомобильный транспорт, неавтоматическое оборудование машиностроительных заводов)	1,99
Машины, выход которых из строя может повлечь за собой экономический ущерб без человеческих жертв (например, нестандартное автоматическое оборудование машиностроительных заводов)	1,48
Машины, выход которых из строя может повлечь за собой большие потери из-за невыпуска продукции без человеческих жертв (например, стандартное автоматическое оборудование заводов электронной промышленности и приборостроения)	1,16

Примечание. Значения C_P получены методом экспертных оценок

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 университета, 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. 432 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. Безжанов Б.Н., Бушунов В. Производственные машины - автоматы. Л.: Машиностроение, 1973. 359 с.
15. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 639 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.
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. 432 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.

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.
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. 639 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.