

М163761
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

Р. Н. УСУБАМАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ
НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ОБРАБОТКИ
КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

(Специальность 05.198—
Автоматизация производственных процессов
в машиностроении)

Диссертация
написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент Волчкевич Л. И.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Чувпило А. В.,
к. т. н. ст. научный сотрудник Бобров В. П.

Ведущее предприятие — Государственный Подшипниковый
завод — 1.

Автореферат разослан « » 1972 г.

Защита диссертации состоится « » 1972 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механи-
зация производства» МВТУ им. Баумана по адресу:
г. Москва, 2-я Бауманская ул. дом 5

С диссерт

Ваши отзы
ренные печат

заве-
есу.

Ученый се

к. т. н.

Ю. А.

M 163761



1163761

Усубаматов Р. Н. Исследования

В Программе Коммунистической партии Советского Союза указывается одна из важнейших задач построения коммунизма — создание материально-технической базы.

В решении данного вопроса большое внимание уделяется комплексной автоматизации производственных процессов в машиностроении, наиболее эффективной в массовом производстве изделий, одними из которых являются подшипники качения.

Намеченный прогресс неразрывно связан с применением технически совершенных видов оборудования при постоянно растущих требованиях к их надежности, обусловленных как конструктивными усложнениями, так и интенсификацией их работы, прогрессом технологии.

Решение этих положений, отмечено в числе основных в директивах XXIII и XXIV съездов КПСС.

Накопленный опыт проектирования и эксплуатации наиболее сложных видов промышленного оборудования автоматов, автоматических линий показывает, что вопросы надежности существенно ограничивают дальнейшее их совершенствование и эффективное использование.

Достижения теории надежности, позволяющие решать задачи проектирования и эксплуатации автоматического оборудования, основываются на знании параметров надежности типовых его механизмов, устройств, получаемых исследованиями их работоспособности.

Однако для подавляющего большинства оборудования, в том числе и транспортных систем еще не установлены показатели и нормы надежности, по причине недостаточности опытных данных, следовательно, актуальность работ в этом направлении очевидна.

Настоящая работа посвящена вопросам повышения надежности устройств транспортных систем автоматических линий обработки колец подшипников и является частью комплекса работ кафедры «Станки и автоматы» МВТУ им. Баумана по проблемным вопросам автоматизации, в том числе — производительности, надежности, экономической эффективности автоматов и автоматических линий (Г. А. Шаумян, Н. И. Камышный, Л. И. Волчкевич, Б. А. Усов и др.).

Задача данной работы — путем исследований и анализа эксплуатационных показателей типовых транспортных систем колец подшипников выявить лимитирующие по надежности устройства и на основе экспериментальных и теоретических исследований дать рекомендации для повышения их надежности в работе.

Выполненная работа состоит из литературного обзора и четырех глав.

В литературном обзоре представлен краткий анализ работ, посвященных вопросам производительности, надежности автоматических линий, их устройств и механизмов.

Основы теории производительности и надежности станков, автоматических линий заложены советскими учеными Г. А. Шаумяном, А. П. Владзиевским, Ю. Б. Эрпшером, наряду с развитием теорий точности обработки, сборки, износа и долговечности. Эти научные направления неразрывно связаны с вопросами надежности, математические основы которых изложены в работах Б. В. Гнеденко, Г. В. Дружинина, Н. А. Шишонка, Х. Б. Кордонского, Я. Б. Шора, Р. Г. Кугеля и др. Научные направления исследований надежности станков и автоматических линий получили развитие в работах А. С. Проникова, Л. И. Волчкевича, И. А. Клусова, Г. И. Меламеда, А. И. Конюха, Б. С. Брона и других авторов.

Разработке и анализу транспортных систем автоматических линий и их механизмов посвящены работы В. П. Боброва, Б. Б. Лисицы, В. А. Морозова, Н. М. Князькова, А. А. Сигódзинского, С. И. Власова, Ю. К. Козьминых, В. Я. Панкратова, В. С. Мадорского и др.

Однако, несмотря на наличие довольно значительного количества работ по транспортным системам автоматических линий, вопросам их надежности уделено мало внимания. Отдельные экспериментальные исследования не в полной мере отражают параметры их надежности.

Как показывает опыт эксплуатации высокопроизводительных автоматических линий обработки колец подшипников, надежность транспортных систем существенно сказывается на производительности линий и эффективности их применения.

Для проведения исследований надежности транспортных систем разработана методика, включающая следующие этапы: а) эксплуатационные исследования надежности типовых транспортных систем в условиях производства; б) экспериментальные исследования лимитирующих по надежности устройств транспортных систем в лабораторных условиях; в) теоретические исследования надежности устройств транспорт-

ных систем и анализ экономической эффективности их применения в зависимости от надежности.

В первой главе приведены результаты исследований эксплуатации надежности типовых транспортных систем, которые проводились на основе методики комплексного анализа работоспособности автоматического оборудования, разработанной кафедрой «Станки и автоматы» МВТУ им. Баумана.

Для исследований были выбраны типовая транспортная система Московского специального конструкторского бюро автоматических линий и специальных станков модели 6Л82Д автоматической линии токарной обработки внутреннего кольца радиально-упорного подшипника № 7608 и транспортная система конструкции I ГПЗ линии токарной обработки кольца карданного подшипника № 804704. Отдельные исследования работоспособности транспортных систем проводились также на 4, 8, 9, 11 ГПЗ. В результате установлены: а) типовые причины отказов систем; б) удельное распределение их по механизмам и устройствам (подъемники, транспортеры-распределители, отводящие транспортеры, лотки, механизмы загрузки и выгрузки колец и т. д.); в) параметры надежности как всей системы, так и отдельных устройств.

Проведенный анализ причин отказов по результатам исследований работоспособности транспортных систем разных конструкций на 1, 4, 8, 9, 11 Государственных подшипниковых заводах позволил установить, что основная масса отказов локализована и происходит в местах остановки колец в лотках по причине:

а) циклически действующих факторов (нестабильность параметров конструктивных элементов устройств и механизмов, хаотичность движения колец, рассеивание размеров колец, наличие остаточного магнетизма и т. п.);

б) монотонно-действующих факторов (износ, деформация, разрегулирование, загрязнение, засорение устройств и т. п.);

в) конструктивного несовершенства устройств и механизмов.

Появление отказов в транспортных системах является случайными событиями, зависящими от многих факторов, поэтому при анализе надежности систем и обработки результатов исследований применялся аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Достоверность результатов исследований надежности транспортных систем определялась достаточностью накопленного объема информации, типичностью выбранного периода наблюдения и точностью проведения хронометража.

Из параметров надежности определялись показатели безотказности:

1. Плотность вероятности безотказной работы устройств

$$f(t) = \frac{\Delta N_i}{N \Delta t_i}, \quad (1)$$

где ΔN_i — количество случаев, попавших в i -ый интервал; Δt — величина интервала в принятых единицах; N — общее количество отказов за период наблюдения.

2. Коэффициент безотказности, как средняя наработка на отказ в рабочих циклах

$$K = \frac{\sum_1^n \Delta N_i z_i}{N}, \quad (2)$$

где Z_i — середина i -го интервала; n — количество интервалов.

3. Параметр потока отказов, как вероятность появления отказа при прохождении одного кольца в системе

$$\omega = \frac{1}{K}, \quad (3)$$

4. Статистическая и вероятностная функции надежности

$$P^*(t) = 1 - \frac{\sum \Delta N_i}{N}; \quad P(t) = e^{-\omega t}, \quad (4)$$

где $e = 2,718$ — основание натуральных логарифмов; t — текущее время, начиная с момента ввода устройства в эксплуатацию.

Эксплуатационные исследования, представляющие собой пассивный эксперимент, проводились в период стабильной эксплуатации автоматических линий. Обработка статистических результатов потока отказов транспортных систем показала, что функции надежности подчиняются экспоненциальному закону.

Достоверность гипотезы согласования статистических данных с теоретическими законами проверялась по критерию согласия χ^2 К. Пирсона. Проверка показала совпадение законов распределения с достаточно высокой вероятностью ($P > 80\%$).

Результаты эксплуатационных исследований надежности транспортных систем Московского специального конструкторского бюро автоматических линий и специальных станков и

1 ГПЗ представлены в таблице 1, где показано распределение отказов по устройствам и механизмам систем и параметры их надежности, которые свидетельствуют о том, что надежность их недостаточно высока.

Таблица 1

Системы Устройства			Система мод. 6Л82Д				Система с лотком-рас- пределителем			
			% отк.	$\omega \cdot 10^{-4}$	K	t мин.	% отк.	$\omega \cdot 10^{-5}$	K	t мин.
система подачи ко- лец к станкам	транспортер- распределитель	подъемник	0,55	4,12	2430	110	7,2	6,45	15500	129
		механизм загрузки	3,1	9,11	1098	43,4				
		механизм выгрузки	9,4	55,7	180,5	60	84,8	75,5	1325	27,6
		лотки под- водящие	0,65	3,83	2610	87				
Система от- вода колец	Лотки отводящие	42,8	271	37	12,3					
		транспортер отводящий	43,3	257		2,84	2,9	2,58	38800	323
		Подъемник	0,2	0,93	10700	465	5,1	4,51	22200	185
Итого...			100				100			25,6

В транспортной системе мод. 6Л82Д в среднем в смену происходит 245 отказов, наименее надежными являются устройства отвода колец от станков, на которые приходится 86% отказов, из них 43% — на лотки и среднее время безотказной работы составляет порядка 2,1 мин.

В системах с лотком-распределителем 85% отказов приходится на лотковые устройства. Среднее время работы данных транспортных систем составляет порядка 25 мин.

Установлено, что отказы в основном происходят в лотках по причине разброса размеров ширины канала (зазора между кольцом и бортом лотка) и размеров колец.

Статистические замеры размеров высоты колец, высоты буртов колец, ширины канала показывают нормальные законы их распределения вида

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (5)$$

Разброс размеров зазоров в лотках и размеров заготовок-штамповок, конических колец токарной обработки в 3—4 раза больше номинальных.

Проведенные исследования показывают, что транспортные системы также как и станки имеют определенную степень надежности. Лимитирующими по надежности устройствами систем являются лотки по причине разброса размеров их параметров. Гибкие лотки подвержены отказам больше, чем жесткие, что и предопределило выбор их для экспериментальных исследований.

Во второй главе представлены экспериментальные исследования надежности транспортирования колец в гибких лотках.

В условиях эксплуатации в лотковых устройствах станков транспортирование колец происходит в двух вариантах: поштучное перемещение с накоплением колец перед отсекателем и перемещение партии колец с остановкой перед устройством типа заслонки.

Застревание колец в лотках приводит к непроизводительным простоям оборудования, поэтому были поставлены задачи определения экспериментального уровня надежности транспортирования колец в лотках в зависимости от: 1) конструктивных размеров лотков (зазора в лотках, радиусов изгиба); 2) рассеивания геометрических размеров колец; 3) количества скопившихся колец и колец в партии; 4) скорости их перемещения; 5) загрязнения лотка, моделирующие реальные условия работы лотковых устройств.

Исследования проводились на экспериментальной установке в лабораторных условиях на внутренних кольцах радиально-упорного роliko-подшипника № 7608, взятых непосредственно с токарного участка технологического потока цеха АЦ-3 1ГПЗ. Количество колец обеспечивало закономерность рассеивания их размеров. Установка включала в себя накопитель колец, ритмопитатель, гибкий сборный лоток длиной 2500 мм, изготовленный из лент 65Г-1П-Д1Х100 ГОСТ 2614-65 с тарой для сбора колец, заслонку и электроаппаратуру управления работой установки.

Исследования надежности транспортирования конических колец в лотках показали, что основной причиной застревания является западание друг за друга буртов колец в местах их остановки. Это объясняется тем, что движущиеся кольца при соударении буртом о стоящие поворачиваются в силу своей несимметричности и возникающего момента разворота, что ведет к западанию буртов.

Застревание колец в лотках носит вероятностный характер, чему способствуют нестабильность размеров ширины лотка, криволинейные участки лотков, изменяющие зазор между лотком и кольцом в крайних точках, скорость движения колец, изменяющие силу динамического соударения и момент разворота колец, а также количество скопившихся колец перед отсекателем или заслонкой.

Скорость движения кольца по лотку является обобщенным параметром длины, угла наклона и радиусов изгиба лотка. В условиях эксперимента длина лотка составляла $L = 2100 \pm 10$ мм и углы наклона $\alpha = 10 \div 15^\circ$, однако, одна и та же скорость может быть получена при разной длине пути движения колец и углов наклона лотка, что позволяет распространить полученные выводы на другие параметры лотков.

Теоретическим путем получены формулы скорости движения конических колец в лотках. Скорость движения колец замерялась аппаратурой, созданной в лаборатории кафедры «Станки и автоматы» МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Получены экспериментальные зависимости вероятности застревания колец перед заслонкой и перед отсекателем в прямолинейном лотке от ширины лотка B (зазора Δ), количества и скорости движения колец. Зависимости показывают резкое увеличение вероятности застревания колец с увеличением зазора в лотке.

С целью обобщения результатов исследований абсолютную величину зазора Δ выразим через отношение Δ/h (h — высота бурта кольца).

Зависимости вероятности застревания колец в криволинейных лотках показывают увеличение застреваний с уменьшением размера радиуса изгиба лотка в сторону большего бурта кольца и уменьшение — при изгибе лотка в сторону меньшего бурта.

Для установления наименьшего зазора между кольцом и буртом лотка были проведены исследования проходимости колец в загрязненных лотках. Предельные размеры зазоров при сухом трении определялись теоретически при известном законе распределения размеров высоты кольца.

Вероятность застревания колец в этом случае определяется интегральной зависимостью вида

$$P_3 = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} \int_{B=H_{\max}}^{B=H_{\min}} e^{-\frac{(H-m_H)^2}{2\sigma_H^2}} dH, \quad (6)$$

где H — размер высоты кольца.

Предельный наименьший размер зазора в загрязненных лотках определится по формуле

$$\Delta_{\min} = B - H + 3\sigma_H + 2\delta + K + 2r, \quad (7)$$

где B — размер ширины лотка; H — номинальный размер высоты кольца; σ — среднее квадратичное отклонение размеров ширины лотка; $\delta = 0 \div 1$ мм — неплоскостность ленты бортов лотка; K — зазор прогиба между кольцом и бортом криволинейного лотка; $r = 0 \div 1$ — толщина слоя загрязнения лотка.

Проведенные исследования показывают, что изменение величины зазоров лотка вызывает резкое увеличение вероятности застреваний колец, поэтому в процессе эксплуатации необходима поддержка стабильности параметров чистого лотка прямолинейного $\Delta/h = 0,3 \pm 0,2$, криволинейного $\Delta/h = 0,45$ при радиусе изгиба $R \leq 500$ мм.

В третьей главе представлен теоретический анализ надежности транспортирования колец в лотках. Рассеивание размеров ширины лотков во много раз больше рассеивания размеров высоты колец токарной обработки, следовательно, на застревание колец в основном влияет рассеивание размеров ширины (зазоров) лотка.

Так как рассеивание размеров зазоров лотков и застревание колец являются случайными независимыми событиями, тогда на основании теоремы умножения вероятностей независимых событий можно записать, что теоретическая вероятность застревания колец определится из произведения вероятности появления размера зазора лотка в заданном интервале и вероятности застревания колец при данном размере зазора лотка.

Данное положение математически выразится в виде

$$P = P_3 P_\Delta = P_3 \frac{1}{\sigma_\Delta \sqrt{2\pi}} \left[\int_{-\infty}^{\Delta+0,5} e^{-\frac{(\Delta-m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta^2}} d\Delta - \int_{-\infty}^{\Delta-0,5} e^{-\frac{(\Delta-m_\Delta)^2}{2\sigma_\Delta^2}} d\Delta \right], \quad (8)$$

где P_3 — вероятность застревания колец в лотке при данном размере зазора (получено экспериментально); P_Δ — интегральная вероятность появления размера зазора Δ в интервале $\pm 0,5$ мм; $m_\Delta = m_B - m_H$ — математическое ожидание размеров зазора Δ ; m_B — математическое ожидание размеров ширины лотка B ; m_H — математическое ожидание размеров высоты кольца H ; σ_Δ — среднее квадратичное отклонение размеров зазора Δ .

Установлено, что весьма точное выдерживание размеров параметров лотка, обеспечивающих надежное транспортирование колец, вызывает затруднения, поэтому целесообразно определить допустимое рассеивание размеров зазоров, обеспечивающих требуемую надежность транспортирования колец. Для этого воспользуемся экономическими критериями оценки эффективности применения транспортных устройств в зависимости от их надежности.

Эксплуатация автоматических линий наглядно показывает непосредственную связь между производительностью, надежностью автоматических линий и их экономической эффективностью.

Всякого рода неполадки, отказы, возникающие в устройствах механизмов автоматических линий приводят к вынужденным простоям, отражаются на производительности линии, на изменении количества обслуживающего персонала, связанного с системами транспортирования обрабатываемых деталей.

Требования к надежности узлов, механизмов, транспортных систем, а также надежности лотковых устройств, в целом должны ставиться из обеспечения заданных технико-экономических показателей.

Для оценки эффективности применения транспортной системы воспользуемся формулой экономической эффективности (9), определяемой сравнением двух вариантов транспортирования колец подшипников в поточном производстве и автоматическом.

В поточном производстве загрузка колец в станки-автоматы, отвод, а также межстаночная транспортировка производятся транспортными рабочими, а автоматическом — станки-автоматы обслуживаются транспортными системами

$$\Theta = (C_1 + K_1 E_H) - (C_2 + K_2 E_H), \quad (9)$$

где K_1 — стоимость транспорта в поточном производстве; K_2 — стоимость транспортной системы в автоматическом производстве; $C_1 = K_1(\beta_1 + \beta_2) + Z_1 Z_1$ — себестоимость транспортирования колец в поточном производстве ($K_1 \cong 0$); где Z_1 — годовой фонд зарплаты транспортного рабочего; Z_1 — количество транспортных рабочих; $C_2 = K_2(\beta_1 + \beta_2) + Z_2 Z_2$ — себестоимость транспортирования колец в автоматическом производстве; где β_1 — коэффициент амортизации при двухсменной работе транспортной системы. $\beta_1 = 0,122$; β_2 — коэффициент текущих затрат (отношение годовых затрат на текущий ремонт и обслуживание к стоимости транспортной си-

стемы, $\beta_2 = 0,05 \div 0,07$; Z_2 — годовой фонд зарплаты наладчика, следящего за транспортной системой; Z_2 — количество наладчиков; E_H — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений $E_H = 0,12$.

Исследования кафедры «Станки и автоматы» МВТУ им. Баумана установили, что среднее время устранения одного отказа, неполадки составляет $\Theta_{cp} = 1,5 \text{ мин}$, а оптимальное количество устранимых отказов в час в среднем колеблется в пределах $n = 15 \div 17$. На основании чего можно определить необходимое количество наладчиков, следящих за работой транспортной системы $Z_2 = \omega/n$; где ω — частота отказов транспортной системы; n — оптимальное количество отказов устранимых наладчиком в час.

При наличии в транспортной системе нескольких однотипных механизмов или устройств, допустимая частота их отказов может быть определена по зависимости $\omega_i = \alpha_i q$; где $\alpha_i = \alpha_i' q$ — доля отказов, приходящихся на однотипные механизмы или устройства; α_i' — доля отказов, приходящихся на одно устройство; q — количество однотипных устройств.

Знание частоты отказов транспортной системы в целом еще не решает требований к допустимым отказам конкретных ее механизмов и элементов, в частности, лотков.

Частоту отказов лотка можно выразить через вероятности застревания колец и технические показатели станка:

$$\omega_{cp} = \frac{P \eta_{\text{тех}}}{T}, \quad (10)$$

где T — длительность рабочего цикла станка; $\eta_{\text{тех}}$ — коэффициент технического использования станка.

Подставляя полученные выражения в формулу (10) и решая ее относительно вероятности застреваний колец в лотках, получим зависимость параметра допустимой надежности лотков от технико-экономических показателей транспортной системы

$$P_{\text{доп}} = \frac{[Z_1 Z_1 + (K_1 - K_2)(E_H + \beta_1 + \beta_2) - \Theta] n \alpha_i' q T}{Z_2 \eta_{\text{тех}}}. \quad (11)$$

Пользуясь предложенной формулой, а также статистическими данными, можно рассчитывать требования к допустимому количеству отказов конкретного механизма, определять, соответствует ли уровень эксплуатационной надежности данного устройства требуемому.

Расчет требований надежности к устройствам и механиз-

мам транспортных систем производится по методике, включающем следующие этапы.

1. Сбор и систематизация исходных данных по следующим параметрам:

а) нормативные показатели: нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (E_H), нормы амортизационных отчислений (β_1), отношение годовых затрат на текущий ремонт и межремонтное обслуживание к стоимости оборудования (β_2);

б) номинальные проектные показатели транспортной системы: стоимость всех элементов транспортной системы (K), количество станков (q), обслуживаемых транспортной системой, количество транспортных рабочих (Z_1), годовой фонд зарплаты рабочего (Z_1), количество наладчиков, следящих за транспортной системой (Z_2), годовой фонд зарплаты наладчика (Z_2), рабочий цикл станка (T), коэффициент технического использования станка ($\gamma_{\text{тех}}$), оптимальное количество устранимых отказов в час (n), доля допустимых отказов приходящихся на один механизм системы (α_i');

в) требуемые технико-экономические показатели транспортной системы: экономическая эффективность ($\mathcal{E}$) транспортной системы.

2. Производя расчеты по формулам 6, 9, 11 и определяя допустимую вероятность застреваний колец в лотках одного станка, можно установить требуемую точность выдерживания параметров лотков (величина зазора, радиусы изгиба и т. п.).

К примеру, рассчитанная допустимая вероятность застреваний колец в лотке радиусом изгиба $R = 200$ мм составляет $P = 0,04$, в этом случае необходимо выдержать параметр лотка $\Delta/h = 0,42 \pm 0,18$.

Проведенные исследования позволили разработать методику расчета требуемой точности конструктивных параметров лотков, обеспечивающих перемещение колец с требуемой надежностью.

В четвертой главе представлен анализ конструкций, работоспособности транспортных систем действующих автоматических линий обработки колец подшипников.

Транспортные системы состоят из большого числа устройств и механизмов, выполняющих разнообразные функции. Нередко одно и то же устройство или механизм одного целевого назначения может быть различного конструктивного исполнения и уровня надежности. В этом случае важное значение приобретает анализ конструкций и оценка их надежности.

Поэтому необходимы анализ и обобщение опыта конструирования и эксплуатации транспортных систем, с точки зрения повышения надежности и долговечности их работы и разработки рекомендаций по дальнейшему совершенствованию.

Анализ работы транспортных систем проводился на 1, 4, 8, 9, 11 ГПЗ на основе подробного ознакомления с конструкциями и техническими данными систем, непосредственного наблюдения за их работой.

Из механизмов транспортных систем по своему конструктивному многообразию выделяются транспортеры-распределители и отводящие; анализ их конструкций и компоновочных вариантов относительно станков-автоматов определил положительные стороны и их недостатки.

Степень конструктивной сложности транспортных систем можно проследить по количеству и сложности траекторий перемещения колец в системе. На основании чего было определено, что сложными являются системы с большим числом подъемников и многожелобчатыми транспортерами, что подтверждается их техническими показателями (категориями ремонтосложности, количеством потребляемой энергии и т. п.).

Для оценки технических и качественных показателей систем предлагаются критерии:

1. Категория ремонтосложности систем, приходящихся на один станок.
2. Количество потребляемой энергии системой, приходящееся на один станок.
3. Занимаемая площадь системой, приходящаяся на один станок.
4. Максимально возможная скорость перемещения колец в системе, определяющая ее пропускную способность.
5. Трудомкость проведения ремонта и удобство обслуживания.
6. Возможность адресования колец.

По предлагаемым критериям была проведена количественная и качественная оценка транспортных систем, установлено, что системы разнятся своими показателями, отражающими уровень их конструктивного совершенства. Среди них выделяются положительными показателями системы конструкции В. П. Боброва, ИПЗ, В. С. Мадорского и А. М. Лебедева.

Анализ конструктивных, компоновочных вариантов построения транспортных систем позволил определить перспективные схемы систем, состоящих из транспортера-распределителя с замкнутой траекторией движения колец, расположен-

ного выше рабочих зон станков и транспортера отводящего, расположенного ниже рабочих зон станков, но выше уровня пола. Такая компоновка позволяет свести количество подъемников до минимума. Независимая работа транспортеров: распределителя и отводящего позволяет функционировать линии при остановке какого-либо из этих устройств, тогда как всякое объединение данных транспортеров в единый приводит к ее полной остановке.

Замкнутая траектория движения колец в транспортерес-распределителе позволяет упростить систему управления автоматической линией и создать условия независимой работы параллельно работающим станкам.

Согласно перспективным схемам разработаны новые предложения по компоновочным вариантам конструкций транспортных систем с принудительным и гравитационным перемещением, предложены быстродействующие механизмы загрузки и выгрузки деталей типа колец. Определены целесообразные области применения существующих транспортных систем.

ВЫВОДЫ:

1. Работоспособность транспортных систем во многом определяет надежность и эффективность автоматических линий обработки колец подшипников.

2. Эксплуатационная надежность типовых устройств транспортных систем недостаточно высока.

В системах типа модели 6Л82Д в среднем смену происходит более 200 отказов; наиболее низкую надежность имеют устройства отвода колец от станков, на которые приходится 86% отказов, из них — по 43% на подводящие лотки и на отводящий транспортер. Среднее время безотказной работы системы отвода колец составляет порядка 2,1 мин.

3. Основные отказы в транспортных системах локализованы и происходят в лотках, в местах остановки колец по причине:

а) циклически действующих факторов: нестабильность параметров конструктивных элементов устройств и механизмов, хаотичность движения колец, рассеивание размеров колец, наличие остаточного магнетизма и т. п.;

б) монотонно-действующих факторов, износ, деформация, разрегулирование, загрязнение, засорение устройств;

в) конструктивного несовершенства устройств.

4. Выявлены закономерности рассеивания размеров лотков и колец. Разброс размеров зазоров между кольцом и бортом лотка, размеров высоты заготовок-штамповок и колец токарной обработки радиально-упорных роликовоподшипников в $3 \div 4$ раза больше номинальных.

5. Застревание колец в лотках зависит от нестабильности конструктивных размеров лотков (радиуса изгибов, и величины зазоров и т. п.), загрязнения лотков, рассеивания геометрических размеров колец, скорости движения и количества скопившихся колец в местах их остановки перед отсекаателями, заслонками и т. п.

6. Получена интегральная зависимость вероятности застревания колец от величины зазоров в лотках.

7. Экспериментальными исследованиями надежности транспортирования внутренних колец радиально-упорных подшипников определены вероятности застревания колец перед отсекателем и партии колец перед заслонками в лотках в зависимости от нестабильности зазоров, радиусов изгиба и загрязнения лотков, количества скопившихся колец и скорости их движения.

8. Установлены параметры лотков, обеспечивающие наиболее надежное перемещение колец с буртами. Рекомендуется соблюдать отношение размера зазора Δ к высоте бурта h кольца в прямолинейном чистом лотке перед отсекателем $\Delta/h = 0,4 \pm 0,3$, перед заслонкой $\Delta/h = 0,3 \pm 0,2$, в криволинейных лотках $\Delta/h = 0,45$ при радиусе изгиба $R \leq 500$ мм, при больших радиусах с допуском до $\pm 0,3$.

9. При монтаже лотков для конических колец необходимо применять изгиб в сторону меньшего бурта кольца, как более надежный при транспортировании колец; участок лотка перед отсекателем и заслонкой делать жестким либо цельным и более точно выдерживать требуемые зазоры лотков.

10. Теоретическими исследованиями надежности транспортирования колец в лотках создана методика расчета требуемой надежности транспортных устройств с учетом их технико-экономических показателей; методика расчета требуемой точности конструктивных параметров лотков, обеспечивающих транспортирование колец с требуемой надежностью.

11. Установлен критерий оценки эффективности применения транспортных устройств в зависимости от их надежности в соответствии с чем предложена расчетная формула и статистические данные с помощью которых можно рассчитывать требования к допустимому количеству отказов конкретного механизма.

12. Определены перспективные конструкции и конструктивные схемы из числа действующих транспортных систем. Даны рекомендации по конструктивному улучшению устройств и механизмов систем транспортирования колес.

*
* *
*

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Волчкевич Л. И., Колмаков Г. И., Усубаматов Р. Н. «Причины отказов механизмов и устройств в автоматических линиях». Сборник «Научные основы технологии и прогрессивные технологические процессы в машино- и приборостроении», Москва, МВТУ, 1970.

2. Волчкевич Л. И., Усубаматов Р. Н. «Исследование проходимости деталей типа колес в лотках транспортных систем». Технология производства, научная организация труда и управления, Научно-исследовательский институт информации машиностроения, № 8, 1971 г.

3. Волчкевич Л. И., Усубаматов Р. Н. «Требования к проходимости колес в лотках транспортных систем автоматических линий обработки колес подшипников». Труды Фрунзенского политехнического института, Вып. № 56, 1972 г.

4. Усубаматов Р. Н. «Анализ схем перемещения колес подшипников в транспортных системах автоматических линий». Труды Фрунзенского Политехнического института Вып. 56, 1972 г.

