

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР
БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер А.И. КОНИХ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНОЧНЫХ ЛИНИЙ СБЛОКИРОВАННО-
ГО ИСПОЛНЕНИЯ

(05.161.Машиноведение и детали машин)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1971

Работа выполнена на кафедре "Станки и обработка металлов резанием" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института и в Минском специальном конструкторском бюро автоматических линий Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР.

Научный руководитель -
член-корреспондент АН БССР, доктор
технических наук, профессор

П. И. ЯЩЕРИЦЫН

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор В. С. КОРСАКОВ,
кандидат технических наук
Ф. Е. СЧАСТЛИВЕНКО

Ведущее предприятие -
Минский ордена Ленина и ордена
Октябрьской Революции тракторный
завод.

Автореферат разослан " " _____ 1971г.

Защита диссертации состоится "28" МАЯ 1971г.

на заседании Объединенного Совета по присуждению ученых степеней по механико-технологическим, машиностроительным, автотракторным и торфяным специальностям Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

О дне защиты будет сообщено в газете "Вечерний Минск".

Отзывы (в двух экземплярах, заверенных и скрепленных печатью) просим направлять по адресу: г. Минск, 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, ученому секретарю Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,
кандидат технических наук,
доцент



Н. КИСЛОВ

Автоматизация производственных процессов является одним из основных, решающих средств, обеспечивающих прогресс в развитии народного хозяйства. От темпов автоматизации машиностроения, являющегося ведущей отраслью промышленности, в значительной мере зависит успех технического перевооружения всего народного хозяйства.

В целях удовлетворения возрастающих потребностей в автоматических линиях Совет Министров СССР в сентябре 1969 г. принял постановление об ускоренном развитии мощностей по их производству. Согласно этому постановлению производство линий к 1974 г. увеличится в четыре раза.

В 1970 г. в машиностроительной промышленности находилось в эксплуатации более 3000 автоматических линий. Однако вследствие недостаточного уровня надежности оборудования и в силу ряда других технических и организационных причин на большинстве линий не обеспечивается проектный уровень производительности, а следовательно, не обеспечивается тот экономический эффект, который был определен при проектировании линий.

Недостаточная надежность машин и систем обесценивает их преимущества по другим техническим параметрам. В последнее время резко возросло значение надежности и производительности технологических машин в ряду основных научно-технических проблем, стоящих перед наукой и производством как у нас в стране, так и на рубежом. Это объясняется все большим усложнением отдельных машин и комплексных технических систем, дальнейшей интенсификацией процессов в машинах, высокими требованиями к их точности и быстродействию.

Предстоящее резкое увеличение выпуска автоматических линий делает особенно актуальной задачу всестороннего комплексного исследования производительных возможностей линий и методов их полной реализации в эксплуатации.

Реферлируемая диссертационная работа посвящена разработке методов количественной оценки уровня надежности и производительности линий на стадии их проектирования, изготовления и эксплуатации. Одной из конечных целей работы является разработка рекомендаций по повышению этого уровня. Исследования в этом направлении, проводимые при непосредственном участии или под руководством автора в течение более десяти лет в Минском СКБ-АЛ, являются частью работ бюро по созданию надежных и высокопроизводительных линий. Диссертационная работа является результатом научного анализа и обобщения накопленного промышленностью опыта по созданию

и использовании автоматических линий и вызвана необходимостью дальнейшего повышения эффективности автоматизации производственных процессов в машиностроении.

Материалы диссертации изложены в шести главах.

В первой главе приведен краткий обзор исследований, посвященных теории надежности и производительности линий, дана характеристика рассматриваемых линий и уровня их надежности и производительности, а также сформулированы задачи исследования.

Основы теории надежности и производительности станков и автоматических линий заложены советскими учеными А.П.Владимовским и Г.А.Шаумяном. Это научное направление получило дальнейшее развитие в трудах А.С.Проникова, Ю.Б.Эршера, Л.И.Волчкевича и других авторов.

С проблемой производительности неразрывно связаны такие еще недостаточно решенные применительно к автоматическим линиям вопросы, как надежность и долговечность.

Основы теории надежности для радиоэлектронных систем, применимые и для автоматических линий, разработали советские ученые В.И.Сифоров, Б.В.Гнеденко, Я.Б.Шор, Н.А.Шилонок и другие.

Следует отметить, что в теории надежности и производительности основное внимание было привлечено к теоретическим исследованиям в области структурного анализа линий. Причем в основу принималась, как правило, только интенсивность потока отказов оборудования. Другие факторы, определяющие уровень надежности и производительности линий, зачастую недооценивались. Созданию упрощенных методов количественной оценки уровня надежности и производительности линий уделялось недостаточное внимание. Экспериментальные данные были недостаточны. Для оценки оборудования, выпускаемого Минским заводом автоматических линий (МЗАЛ), экспериментальные данные отсутствовали.

Основные требования, предъявляемые к автоматическим линиям - выпуск заданного количества деталей определенного качества при допустимых затратах средств и времени, т.е. требования к надежности и производительности линий носят, в основном, экономический характер.

На всех работавших в 1966 г. автоматических линиях на заводах автомобильной и тракторной промышленности страны только около одной трети линий работало с программой, составляющей более 60% от проектной производительности. В течение многих лет не

используются на полную проектную мощность 70-80% линий, изготовленных МЗАЛ.

Качество станочного оборудования и, в частности, автоматических линий, является далеко недостаточным. Среднее время безотказной работы линий иногда не превышает 5-6 минут, а коэффициент технического использования составляет 0,3 - 0,4. Это обстоятельство во многом объясняется сложностью автоматических линий, включающих в себя десятки и сотни режущих инструментов, десятки различных станков или силовых узлов, транспортных и других устройств, состоящих из многих тысяч деталей, аппаратов, приборов, относящихся к механическим, электрическим, гидравлическим и пневматическим компонентам оборудования.

Низкий уровень надежности и производительности линий, а также реализации их производительных возможностей во многом объясняется тем, что до настоящего времени отсутствуют нормативно-технические документы, регламентирующие количественную оценку этого уровня на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации.

В этой связи в диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка системы количественных показателей надежности и производительности линий.
2. Разработка методики получения и математической обработки статистических данных, характеризующих надежность и производительность линий.
3. Определение структуры цикловых затрат времени на обработку деталей и внецикловых потерь времени вследствие простоев линий по различным причинам.
4. Разработка инженерной методики расчета показателей надежности и производительности линий на стадии их проектирования.
5. Разработка методики контроля показателей надежности и производительности линий при приемо-сдаточных испытаниях.
6. Определение основных путей и методов повышения уровня надежности и производительности линий на стадии их проектирования, изготовления и эксплуатации.
7. Определение характера изменения экономической эффективности линий в зависимости от использования их проектной производительности.

Во второй главе дано описание объекта исследования, установлена взаимосвязь надежности и производительности линий сблокированного исполнения, приведена методика их исследования о применении самопишущих приборов и классификация причин простоев и отказов.

Объектом исследования являются автоматические линии, установленные на различных машиностроительных заводах, изготовленные, в основном, МЗЛ. Всего было исследовано более 100 линий. В состав каждой линии входит от 5 до 15 агрегатных станков и от 50 до 150 режущих инструментов.

Особенностью работы сблокированных автоматических линий является строго регламентированная, последовательная очередность срабатывания всех узлов и механизмов, определяемая циклограммой. Вследствие этого отказ одного из механизмов вызывает останов всей линии, так как между всеми станками и механизмами существует "жесткая" связь.

Отдельные узлы и устройства линий могут испытываться на надежность в лабораторных условиях. Всю линию в целом в лабораторных условиях испытывать нецелесообразно. Для получения достоверной информации о надежности и производительности линий проводят исследования их непосредственно в эксплуатации.

Номинальная производительность линии, определяемая при условии отсутствия каких-либо отказов и простоев

$$Q_n = \frac{M}{T}, \quad (1)$$

где M - число одновременно обрабатываемых деталей за один цикл;

T - длительность цикла.

В процессе эксплуатации линии подвержены довольно частым остановкам по техническим и организационным причинам, вследствие чего снижается их номинальная производительность.

Техническая производительность

$$Q_r = \frac{M}{T} K_r, \quad (2)$$

где K_r - коэффициент технического использования линии, который определяется с учетом потерь времени только по техническим причинам.

Общая производительность

$$Q_0 = \frac{M}{T} K_0, \quad (3)$$

где K_0 - общий коэффициент использования линии, определяемый с учетом всех потерь времени.

Значения M и T зависят от конструктивных особенностей линии и при проектировании, испытании и в эксплуатации определяются без особых затруднений. Значения общего коэффициента использования и общей (проектной) производительности линии до настоящего времени указываются в проектах без достаточного технического обоснования. Значения коэффициента технического использования и технической производительности в проектах вообще не указываются.

Это объясняется тем, что значения коэффициентов K_T и K_0 зависят от ряда факторов: надежности оборудования и режущих инструментов линии, трудоемкости ремонта и технического обслуживания, а также от производственно-эксплуатационных недостатков. Все эти факторы недостаточно изучены и почти не подвергались комплексному анализу. Поэтому, несмотря на имеющийся опыт проектирования, изготовления и эксплуатации линий, до настоящего времени отсутствует методика, позволяющая с достаточной для практики точностью определить производительные возможности линий на стадии их проектирования.

Отсутствие количественных показателей надежности и производительности не позволяет ввести определенные требования, направленные на обеспечение заданной производительности при проектировании линии и проверку ее при приемо-сдаточных испытаниях и в эксплуатации.

Уровень снижения производительности определяется величиной потерь времени, т.е. частотой и длительностью простоев. Простоев линий, вызванные техническими неисправностями и причинами организационного характера, являются случайными событиями, зависящими от многих факторов. Поэтому необходимым математическим инструментом при анализе надежности и производительности линий является теория вероятностей и математическая статистика.

Все выводы о надежности и производительности линий базируются на статистических данных, и степень достоверности их определяют следующие факторы: точность хронометража при исследовании, объем информации, правильность определения причин простоев

и отказов.

Определение продолжительности безостановочной работы и простоев линии путем наблюдений и хронометража с помощью секундомеров приводит к существенным погрешностям. При изучении надежности ряда линий простои, причина и продолжительность которых не были зафиксированы наблюдателями, составляли до 24% от общего времени простоев, а число незарегистрированных простоев - до 40% от общего числа случаев. Поэтому возникла необходимость автоматизации процесса регистрации статистических данных с помощью самопишущих приборов. Записанный на ленте график работы линии является объективным документом, характеризующим ее работоспособность.

Производительность линии зависит от цикловых затрат времени на обработку деталей и нецикловых потерь времени из-за простоев по различным причинам. Для анализа и оценки затрат и потерь времени разработана типовая структура распределения фонда времени работы линии, в основу которой положена классификация, предложенная Г.А.Шаумяном.

Отказы оборудования и инструментов классифицированы по компонентам (силовые узлы, транспортное устройство, электрооборудование и т.д.) и по этапам, на которых были внесены причины отказов (конструктивный, технологический, эксплуатационный). В основу принятой классификации отказов положены работы Я.Б.Шора и Р.Н.Кугеля.

В третьей главе дан анализ распределения фонда времени работы линий, выбраны количественные показатели надежности и производительности линий и их компонентов, приведена методика определения точности и достоверности статистических оценок показателей. Определена продолжительность исследования, необходимая для получения значений показателей с заданной точностью и достоверностью.

Фактические данные распределения фонда времени работы ряда линий (табл. I) свидетельствуют о том, что затраты времени на обработку деталей на многих линиях составляют только 30-50% от фонда времени работы.

Автоматические линии представляют собой сложные системы, состоящие из большого числа деталей и аппаратов, обладающих различными сроками службы и подверженных различным видам отказов.

Таблица I

Модель линии	Продолжи- тельность наблюдения, смен	Распределение фонда времени работы в %			
		Затраты времени на обработку деталей	Потери времени		
	из-за отказов оборудо- ваний		на замену инструмен- тов и тех- нических обслужива- ние	по органи- зационным причинам	
ЛМ36	21	74,3	16,9	5,7	3,1
ЛМ37	21	67,6	14,7	5,6	12,1
ЛМ115	44	35,0	6,5	5,2	53,3
ЛМ116	75	33,0	13,0	13,0	41,0
ЛМ117	75	33,0	13,0	13,0	41,0
ЛМ118	75	30,0	3,6	9,0	57,4
ЛМ119	63	64,8	15,6	12,6	7,0
ЛМ134	63	47,6	7,5	22,4	22,5
ЛМ135	63	36,9	8,2	23,9	31,0
ЛМ169	42	48,8	14,1	29,4	7,7
ЛМ172	28	23,2	19,7	9,8	47,3
ЛМ215	43	44,1	11,3	5,9	38,7
ЛМ225	34	33,9	5,8	19,9	40,4
ЛМ262	49	47,2	7,9	6,5	38,4
ЛМ263	49	49,3	13,9	13,0	23,8

В работах, посвященных исследованию потоков отказов таких систем, показывается, что эти потоки близки к простейшим, т.е. промежутки между отказами распределены по экспоненциальному закону. С целью проверки гипотезы о подчинении времени безотказной работы и времени восстановления экспоненциальному закону распределения по данным исследования для ряда линий были построены гистограммы и кривые плотности вероятностей. Применение "критерия χ^2 Пирсона позволило сделать вывод о возможности принятия экспоненциального закона для обеих случайных величин. Проверка экспериментальных функций распределения, построенных по данным об интервалах безостановочной работы ряда линий с помощью вероятностной бумаги, показала, что эти функции также близки к экспоненциальным.

Исходя из вышеизложенного и учитывая особенности автоматических линий, для оценки уровня их надежности и производительности по результатам исследования в эксплуатации приняты следующие показатели:

Наработка на отказ линии

$$T^{*1)} = \frac{t_u}{n}, \quad (4)$$

где t_u - суммарная наработка линии за период исследования;
 n - число отказов за период исследования.

Для отдельных элементов линии (компонентов, узлов, деталей) наработка на отказ равна

$$T_i^* = \frac{t_{ui}}{n_i}, \quad (5)$$

где n_i - число отказов i -го элемента.

Среднее время восстановления линии

$$T_{\Sigma}^* = \frac{t_{\Sigma}}{n}, \quad (6)$$

где t_{Σ} - суммарное время восстановления за период исследования.

Для отдельных элементов среднее время восстановления равно

$$T_{\Sigma i}^* = \frac{t_{\Sigma i}}{n_i}, \quad (7)$$

где $t_{\Sigma i}$ - суммарное время восстановления работоспособности линии, утраченной вследствие отказов i -го элемента.

Удельная длительность восстановления оборудования линии

$$B^* = \frac{T_{\Sigma}^*}{T^*} = \frac{t_{\Sigma}}{t} \quad (8)$$

Удельная длительность восстановления отдельного элемента

$$B_i^* = \frac{T_{\Sigma i}^*}{T_i^*}. \quad (9)$$

Коэффициент удельных потерь времени, характеризующий удельную величину ненадежности, вносимую различными элементами в общую ненадежность линии. Для i -го элемента линии он равен

1) Звездочка показывает, что значение показателя получено экспериментальным путем.

$$k_{yi}^* = \frac{t_{ai}}{t_b} = \frac{T_{ai}^*}{T_b^*} \gamma_i^* \quad (10)$$

где $\gamma_i^* = \frac{n_i}{n} = \frac{T^*}{T_i^*}$ - коэффициент удельного числа отказов i -го элемента.

Коэффициент готовности оборудования

$$K_r^* = \frac{t_u}{t_u + t_b} = \frac{1}{1 + B^*} \quad (11)$$

Коэффициент технического использования линии

$$K_T^* = \frac{t_u}{t_u + t_b + t_{\text{проф}}} = \frac{1}{1 + B_T^*} \quad (12)$$

где $t_{\text{проф}}$ - суммарное время проведения работ по техническому обслуживанию, замене и подналадке режущих инструментов;

$B_T^* = \frac{t_b + t_{\text{проф}}}{t_u}$ - удельная длительность простоя по техническим причинам.

Общий коэффициент использования линии

$$K_o = \frac{t_u}{t_u + t_b + t_{\text{проф}} + t_{\text{орг}}} = \frac{1}{1 + B_o^*} \quad (13)$$

где $t_{\text{орг}}$ - суммарное время простоя линии по организационным причинам;

$B_o^* = \frac{t_b + t_{\text{проф}} + t_{\text{орг}}}{t_u}$ - удельная длительность простоя линии по любым причинам.

Наработка на отказ исследованных линий находится в пределах от 0,25 до 0,95 час., среднее время восстановления - от 2,9 до 9,0 мин. Значения коэффициентов технического использования исследованных линий значительно превосходят значения общих коэффициентов использования (фактических), что свидетельствует о возможностях повышения уровня реализации производительных возможностей линий за счет повышения уровня организации их эксплуатации.

Полученные в результате исследования значения показателей S^* (т.е. величин T^* , T_b^* , B^* и др.) являются относительно точными оценками неизвестных истинных значений S (т.е. T , T_b , B и др.).

Для любого показателя можно записать

$$\alpha = \text{Вер} \{ \underline{S} \leq S \leq \bar{S} \}, \quad (14)$$

где \underline{S} и \bar{S} — определяемые по результатам испытания соответственно нижняя и верхняя двусторонние доверительные границы;

α — вероятность того, что истинное значение показателя заключено в доверительном интервале, ограниченном значениями \underline{S} и \bar{S} .

Формулы для определения средних квадратических отклонений и доверительных границ основных показателей надежности и производительности линий, а также необходимого числа отказов (длительности исследования) для получения заданной точности и достоверности этих показателей, приведены в табл. 2.

При $n \geq 30$ получаемая точность доверительных границ является вполне приемлемой. Сложность современных линий, стремление к повышению их производительности за счет интенсификации работы оборудования и инструментов, тяжелые условия эксплуатации обуславливают такой уровень их ненадежности, при котором получение достаточной исходной информации возможно за 25–30 рабочих смен.

Наименьшее время требуется при определении с заданной точностью и достоверностью значения коэффициента технического использования линии. Наибольшее время требуется для оценки значения коэффициента удельных потерь, причем это время увеличивается с ростом надежности компонента, для которого этот показатель определяется.

Значения доверительных границ для удельной длительности простоя можно определить из выражений

$$\underline{B} = \varepsilon_1 B^* \quad \text{и} \quad \bar{B} = \varepsilon_2 B^* \quad (15)$$

Значения коэффициентов ε_1 и ε_2 определяется с помощью номограммы, построенной для $\varepsilon_1 = f_1(n)$ и $\varepsilon_2 = f_2(n)$. Доверительные границы при этом для K_r , K_T , K_o , Q_r и Q_o определяются соответственно по уравнениям (II), (I2), (I3), (2) и (3).

С целью повышения объема выборки, т.е. для повышения точности и достоверности значений показателей надежности отдельных элементов, показателями необходимо определять по результатам ис-

Таблица 2.

Показатель надежности	Доверительные границы		Число отказов, соответствующее заданным p и δ
	нижняя	верхняя	
Среднее квадратическое отклонение			
Наработка на отказ	$\sigma(T^*) = \frac{T}{\sqrt{n}}$	$\bar{T} = \frac{T^*}{1 - \frac{z_p}{\sqrt{n}}}$	$\bar{n} = \left[\frac{z_p(1-\delta)}{\delta} \right]^2$
Среднее время между отказами	$\sigma(T_B) = \frac{T_B}{\sqrt{n}}$	$\bar{T}_B = \frac{T_B^*}{1 - \frac{z_p}{\sqrt{n}}}$	$\bar{n} = \left[\frac{z_p(1+\delta)}{\delta} \right]^2$
Удельная мощность	$\sigma(B^*) = B \sqrt{\frac{2}{n}}$	$\bar{B} = \frac{B^*}{1 + z_p \sqrt{\frac{2}{n}}}$	$\bar{n} = 2 \left[\frac{z_p(1+\delta)}{\delta} \right]^2$
Коэффициент дисперсии	$\sigma(k_{T_1}) = k_{T_1} (1 - k_{T_1}) \sqrt{\frac{2}{n}}$	$\bar{k}_{T_1} = \frac{1 + z_p \sqrt{\frac{2}{n}}}{1 + z_p \sqrt{\frac{2}{n}} + B^*}$	$\bar{n} = 2 \left\{ \frac{z_p [1 - k_{T_1}^2 (1-\delta)]^2}{\delta} \right\}$
Коэффициент дисперсии удельной мощности	$\sigma(k_{y_1}) = k_{y_1} (1 - k_{y_1}) \times \sqrt{\frac{2}{n} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{1 - T_1} \right)}$	$\bar{k}_{y_1} = k_{y_1}^* \left[1 + z_p \left(1 - k_{y_1}^* \right) \times \sqrt{\frac{2}{n} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{1 - T_1} \right)} \right]$	$\bar{n} = 2 \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{1 - T_1} \right) \left[\frac{z_p (1 - k_{y_1}^*)}{\delta} \right]^2$

следования нескольких аналогичных линий. Для этого разработана методика осреднения полученных значений показателей и их среднего квадратического отклонения.

Точность осредненных значений показателей надежности элементов зависит от общего числа отказов этих элементов и не зависит от количества исследованных линий и количества элементов в линии. Полученные количественные значения показателей надежности элементов могут использоваться при расчетах надежности и производительности линий длительное время — до тех пор, пока в конструкцию или технологический процесс изготовления этих элементов не будут внесены существенные изменения. По мере проведения исследования других линий и получения дополнительных сведений о надежности этих элементов, имеющиеся данные требуют уточнения.

В ч е т в е р т о й г л а в е дан анализ путей повышения надежности и производительности линий на стадии их проектирования, изготовления и эксплуатации.

Одним из основных методов повышения производительности на стадии проектирования является сокращение времени цикла линий. Это достигается за счет сокращения машинного и вспомогательного времени цикла.

Из выражения (1) следует, что сокращение вспомогательного времени особенно эффективно при малых значениях машинного времени. Эффективным средством повышения производительности линий является групповая обработка деталей ($M = 2, 3, \dots$), что особенно целесообразно при построении линий с многоместными приспособлениями — спутниками.

Анализ выражения (3) показывает, что уменьшение времени цикла особенно эффективно в области его малых значений, а увеличение общего коэффициента использования — в области больших значений номинальной производительности. Повышение производительности за счет увеличения коэффициента использования достигается путем повышения надежности оборудования и инструментов и улучшения организации эксплуатации линий.

Надежность линий определяется как уровнем безотказности, так и уровнем ремонтпригодности. Методы повышения безотказности направлены на устранение причин, вызывающих отказы отдельных элементов. Методы повышения ремонтпригодности должны обеспечить уменьшение времени восстановления работоспособности линий, утра-

ченной вследствие отказов.

На безотказность узлов и механизмов линии основное влияние оказывают долговечность и механическая прочность деталей. Долговечность и надежность деталей на стадии изготовления и ремонта линии в значительной степени может быть повышена за счет применения упрочняющих технологических процессов.

Однако во многих механизмах отказ возникает не как следствие постепенного изменения внутреннего состояния элементов, а лишь как следствие внешнего случайного воздействия, величина которого выше предельно допустимой. Причем перегрузка, один раз возникнув, может иметь место в течение нескольких циклов.

На примере силовых узлов линии показано, что наибольшая эффективность в предотвращении отказов оборудования достигается путем сочетания электрических и механических защитных устройств и соответствующего согласования их параметров. Удельный вес электродвигателей приводов силовых столов и вращения инструмента в общем количестве электродвигателей автоматической линии составляет 70-85%. Защита кинематической и электрических цепей в силовом столе осуществляется при помощи предохранительной фрикционной муфты и защитных устройств в силовых цепях электродвигателей. Силовая цепь электродвигателя защищена трехполюсным автоматическим выключателем и тепловым биметаллическим реле.

Наиболее распространенной и естественной причиной перегрузки в автоматической линии является затупление режущих инструментов. После обработки определенного количества деталей происходит интенсивное затупление инструмента, вызывающее возрастание нагрузки и тока двигателя. Это приводит к срабатыванию тепловой защиты электродвигателя. Возможность такого использования тепловой защиты в повторно-кратковременном режиме работы обусловлена постоянством цикла и относительным постоянством нагрузок в зоне нормального затупления инструмента.

Для правильной оценки возможных последствий при отказах и для выбора средств предупреждения этих последствий рекомендуется построение структурной схемы логической цепи взаимозависимости явлений при отказах, так называемой схемы возможных отказов. Анализ такой цепи позволяет уяснить причину отказов, правильно определить наиболее существенные связи явлений при возможных отказах механизмов и выбрать средства защиты, места установки защитных устройств, параметры и целесообразное взаимодействие этих уст -

ройств. В качестве примера в работе приведена схема возможных отказов взаимодействующих между собой приводов подачи и вращения инструментов.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что значительное число остановов линий (от 10 до 25%) вызывается срабатыванием защитных устройств, предотвратившим выход из строя как электродвигателей, так и элементов кинематических цепей механизмов. Кроме того, простои при этих остановах менее длительны, чем остальные из-за менее трудоемких работ по устранению неполадок. Так, среднее время восстановления при срабатывании защиты от перегрузки оказывается меньше среднего времени восстановления при остальных остановах в два-четыре раза, что в значительной мере способствует повышению коэффициента технического использования линий.

Срабатывание тепловой защиты электродвигателя во многих случаях является сигналом о необходимости проведения технического обслуживания (замены затупившегося инструмента, очистки и смазки механизма и т.д.).

За счет повышения безотказности и ремонтпригодности линий МЗАЛ за восемь лет коэффициент удельных потерь времени по силовым столам снизился с 30 до 1,0%, по электрооборудованию - с 20 до 2,5% и т.д.

В результате исследования установлено, что по уровню номинальной и технической производительности автоматические линии МЗАЛ выпуска последних лет не уступают лучшим зарубежным линиям. По надежности оборудование линий МЗАЛ уступает только линиям фирмы „Heller“. Показано, что для сравнительной оценки уровня надежности (безотказности и ремонтпригодности) наиболее удобно пользоваться показателем удельная длительность восстановления (8) и (9).

Необходимо отметить, что при равных производительных возможностях, надежность линий МЗАЛ и других отечественных заводов снижается вследствие того, что на их техническое обслуживание затрачивается значительно меньше времени, чем на обслуживание линий фирмы „Heller“.

Анализ отказов свидетельствует о том, что большинство из них (от 40 до 90%) обусловлено эксплуатационными причинами. Так, из 468 отказов, зарегистрированных при исследовании воюми лияи, 58% отказов было вызвано загрязнением и несвоевременной смазкой механизмов; 96% - не связано с разрушением деталей; 94% - профилируемые.

Установлено, что на уровень потерь времени при устранении отказов оборудования и при замене и подналадке режущих инструментов значительное влияние оказывает квалификация наладчика. Например, при обслуживании линии ЛМ22 у наладчика более высокой квалификации потери времени на одинаковое количество обработанных деталей были в 1,8 раза меньше, чем у менее квалифицированного наладчика при обслуживании этой же линии.

Для повышения уровня организации эксплуатации линий, который на многих заводах остается еще довольно низким, на основании результатов исследования разработана "Инструкция по эксплуатации автоматических линий МЗАЛ".

В работе на конкретных примерах показана эффективность использования результатов исследования линий для повышения уровня надежности и производительности их на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации. Например, линии ЛМ266 и ЛМ267, при проектировании и изготовлении которых учтены наши рекомендации по сокращению времени цикла и по повышению уровня надежности, имеют производительность на 20% выше, чем исследованные линии ЛМ85 и ЛМ86 для обработки аналогичных деталей.

Для анализа потерь времени и при выборе наиболее эффективных путей повышения надежности и производительности конкретной линии наиболее удобно пользоваться коэффициентами удельных потерь времени и коэффициентами удельного числа отказов (IO).

В п я т о й г л а в е приводится методика расчета показателей надежности и производительности на стадии проектирования линий и методика контроля этих показателей при приемо-сдаточных испытаниях. Дается анализ уровня надежности 15 линий по результатам испытания их на МЗАЛ.

Методика расчета надежности любых технических устройств сводится к определению показателей надежности этих устройств по известным показателям надежности отдельных элементов. Нами разработана методика ориентировочного расчета надежности и производительности, в которой в качестве элементов расчета приняты целые

узлы. Создание такой методики основано на том, что большинство (до 95%) используемых в настоящее время в линиях узлов являются нормализованными и типовыми. Преимущество методики заключается в том, что показатели надежности узлов могут быть получены за короткий срок в процессе исследования линий. Точность и достоверность значений показателей надежности и производительности зависит от количества отказов, зарегистрированных в процессе испытания. Отсюда следует, что необходимое время испытания крупных узлов составляет небольшую величину по сравнению с временем испытания отдельных деталей, аппаратов, приборов и т.д. Трудоемкость расчетов относительно невелика, поскольку количество наименований используемых узлов в линиях ограничивается обычно несколькими десятками.

Расчет надежности и производительности линий по предлагаемой методике сводится к определению их основных показателей S и средних квадратических отклонений $\sigma(S)$ по известной уже на стадии технического предложения или эскизного проекта компоновке линии и полученным ранее показателям надежности и производительности отдельных узлов. Поскольку в линиях используются узлы как циклического действия (силовые столы, приспособления, транспортеры и т.д.), так и длительного действия (некоторые виды транспортеров, гидростанции и т.д.), параметр потока отказов оборудования линии облокированного исполнения равен

$$\Lambda = \frac{1}{T_n} \sum_i m_i \cdot k_i \cdot \Lambda_i + \sum_j m_j \cdot \Lambda_j, \quad (16)$$

где m_i - количество циклически работающих узлов с параметром потока отказов Λ_i [$1/\text{цикл}$] и количеством совершаемых циклов за один цикл действия линии k_i ($i = 1, 2, \dots$);
 m_j - количество узлов длительного действия с параметром потока отказов Λ_j [$1/\text{мин}$] ($j = 1, 2, \dots$);
 T_n - длительность цикла действия проектируемой линии, для которой производится расчет надежности.

Рассматривая Λ как функцию случайных величин Λ_i и Λ_j , находим приближенное значение дисперсии $\sigma^2(\Lambda)$ [$1/\text{мин}$]

$$\sigma^2(\Lambda) = \frac{1}{T_n^2} \sum_i m_i^2 k_i^2 \sigma^2(\Lambda_i) + \sum_j m_j^2 \sigma^2(\Lambda_j), \quad (17)$$

где $\sigma^2(\Lambda_i) \left[\frac{1}{\text{цикл}^2} \right]$ - дисперсия параметра потока отказов i -ых узлов циклического действия;
 $\sigma^2(\Lambda_j) \left[\frac{1}{\text{мин}^2} \right]$ - дисперсия параметра потока отказов j -ых узлов длительного действия.

Удельная длительность восстановления работоспособности линии B равна сумме удельных длительностей восстановления отдельных узлов, используемых в линии, поэтому

$$B = \frac{1}{T_n} \sum_i m_i k_i B_i + \sum_j m_j B_j, \quad (18)$$

где $B_i \left[\frac{\text{мин}}{\text{цикл}} \right]$ и $B_j \left[\frac{\text{мин}}{\text{мин}} \right]$ - удельные длительности восстановления соответственно i -го узла циклического действия и j -го узла длительного действия ($i = 1, 2, \dots$; $j = 1, 2, \dots$).

Рассматривая B как функцию случайных величин B_i и B_j , находим приближенное значение дисперсии $\sigma^2(B) \left[\frac{\text{мин}^2}{\text{мин}^2} \right]$

$$\sigma^2(B) = \frac{1}{T_n^2} \sum_i m_i^2 k_i^2 \sigma^2(B_i) + \sum_j m_j^2 \sigma^2(B_j), \quad (19)$$

где $\sigma^2(B_i) \left[\frac{\text{мин}^2}{\text{цикл}^2} \right]$ - дисперсия удельной длительности восстановления i -ых узлов циклического действия;

$\sigma^2(B_j) \left[\frac{\text{мин}^2}{\text{мин}^2} \right]$ - дисперсия удельной длительности восстановления j -ых узлов длительного действия.

В соответствии с уравнением (8) получаем уравнения для оценки среднего времени восстановления T_B проектируемой линии и его дисперсии $\sigma^2(T_B)$

$$T_B = B T = \frac{B}{\Lambda} \quad \text{и} \quad \sigma^2(T_B) = \frac{1}{\Lambda^2} [\Lambda^2 \sigma^2(B) + \sigma^2(B)] \quad (20)$$

Получив значения доверительных границ для B , используя уравнение (II), можно определить значения доверительных границ для коэффициента готовности оборудования линии. Получив расчетные значения показателей надежности, можно перейти к определению ожидаемой производительности проектируемой линии.

Из уравнения (13) имеем для линии

$$B_0 = B + B_{\text{проф}} + B_{\text{орг}}, \quad (21)$$

где $B_{\text{проф}} = \frac{t_{\text{проф}}}{t_4}$ - удельная длительность простоя по причине профилактики;

$B_{\text{орг}} = \frac{t_{\text{орг}}}{t_4}$ - удельная длительность простоя по организационным причинам.

В том случае, если известны технически обоснованные нормы потерь времени по организационным причинам и с целью профилактики, по уравнению (21) может быть получено значение B_T и B_0 удельной длительности простоя по техническим и по любым причинам. Затем в соответствии с уравнениями (12), (13), (2) и (3) определяются значения технического и общего коэффициента использования, а также технической и общей производительности проектируемой линии.

На МЗАЛ при участии автора были разработаны и внедрены "Типовые технические условия на поставку линий", в которых регламентированы вопросы контроля некоторых показателей надежности и производительности линий. Значения этих показателей, определяемые на стадии проектирования, вносятся в ТУ на поставку линии, утверждаются заказчиком при согласовании технического проекта и подлежат проверке при приемо-сдаточных испытаниях и в эксплуатации. На заводе-изготовителе обычно имеется небольшое количество заготовок, позволяющее испытывать линии под нагрузкой не более двух-трех часов. Поэтому испытания линий на заводах-изготовителях носят обычно предварительный характер и в процессе их контролируется лишь показатель безотказности, продолжительность цикла, а также точность и чистота обработки деталей.

Нами разработаны методики контроля надежности (безотказности) на заводе-изготовителе и контроля надежности и производительности линий при вводе их в эксплуатацию на заводе-заказчике.

Для проверки безотказности линий на заводе-изготовителе принят метод последовательного анализа, так как он позволяет за возможно короткое время установить соответствие фактического значения безотказности линий заданному уровню. Время испытаний для

линий средней сложности, как показывает практика, не превышает двух-трех рабочих смен.

При последовательных испытаниях проверяется гипотеза о том, что истинное значение наработки на отказ с вероятностью 0,9 находится не ниже заданного приемочного значения. Графический метод дает правило для принятия в любой момент испытания одного из трех решений: принять, забраковать, продолжить испытания.

Нами разработана таблица, в которой для различных по надежности линий в табличной форме приведены три приема: приемки, браковки, продолжения испытаний.

Это позволяет в ТУ на поставку линий указывать длительность испытания линии (число циклов работы) и допустимое число отказов.

Анализ показывает, что из 87 отказов, зарегистрированных при испытании 15 линий, 63% составляют отказы комплектующих изделий электро- и гидрооборудования, 29% — отказы из-за дефектов изготовления. Это свидетельствует о том, что для резкого повышения надежности линий на стадии их испытания необходимо внедрение входного контроля комплектующих изделий и повышение качества изготовления.

Контроль надежности и производительности линий на заводе — заказчике производится в процессе приемо-сдаточных испытаний после окончания монтажных и наладочных работ.

Для определения технической производительности, коэффициента технического использования и других показателей надежности, а также для оценки точности и достоверности получаемых значений при приемо-сдаточных испытаниях, используются методы, применяемые при исследовании линий в эксплуатации. Практика показывает, что получение значений технической производительности с приемлемой точностью и достоверностью возможно за время испытания, не превышающее для линий средней сложности восемь-десять рабочих смен.

В шестой главе рассмотрены вопросы экономической эффективности линий в зависимости от реализации их производительных возможностей.

Вследствие того, что при заказе линий оговаривается уровень производительности, реализация которого потребует через 8-10 лет после ввода их в эксплуатацию, производительные возможности большинства линий не используются многие годы. Между тем на заводах тракторного и сельскохозяйственного машиностроения в 1968 г.

33% линий работало в три смены вместо двух по проекту.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что многие линии обладают значительными нереализованными возможностями, так как простои по организованным причинам зачастую составляют 30% и более от фонда времени работы линий. Фактический выпуск деталей на линиях определяется планом выпуска изделий на заводе и не характеризует уровня их производительных возможностей. При правильной организации эксплуатации плановый выпуск деталей может быть обеспечен на многих линиях при меньшем числе рабочих смен. Результаты исследования линий ЛМII6, ЛМII7 и ЛМII8, проведенных в 1964г. и повторно в 1969г., свидетельствуют о том, что производительные возможности их за пять лет эксплуатации (всего линии эксплуатируются в течение восьми лет) изменились в сторону повышения более чем на 20%.

Рост производительности происходит как за счет уменьшения времени цикла действия, так и за счет увеличения коэффициента использования. При этом происходит уменьшение удельных потерь времени по всем составляющим. Это объясняется тем, что в процессе эксплуатации производится улучшение конструкции, ликвидируются дефекты изготовления и сборки, повышается долговечность деталей, качество заготовок и режущих инструментов, растет квалификация обслуживающего персонала, совершенствуются методы обслуживания и ремонта линий и т.д.

Следует отметить, что за пять лет эксплуатации значения всех показателей надежности и производительности изменились только в сторону повышения производительных возможностей линий.

Уровень надежности и производительности линий интересует их потребителей в течение ограниченного отрезка времени (10-12 лет), так как за этот срок обычно происходит изменение объекта производства и требуется модернизация линии для перестройки ее на обработку другой или аналогичной детали.

В связи с вышесказанным, на ближайший период для расчета надежности и производительности целесообразно принять допущение о постоянстве вероятностных характеристик надежности и производительности линий, что позволит в значительной мере упростить решение многих задач по рассматриваемой проблеме.

Длительное недокиспользование проектной производительности и работа линий в три смены приводит к снижению эффективности автоматизации производственных процессов, так как увеличиваются сроки окупаемости дополнительных капитальных затрат, и, следовательно, уменьшается величина прибыли. При снижении уровня реализации производительных возможностей, оговоренных проектом, ниже некоторой критической величины вместо прибыли линия приносит убытки.

В результате анализа экономической эффективности установлено, что для участка автоматических линий ЛМII6, ЛМII7 и ЛМII8 критический коэффициент использования проектной производительности при двухсменном режиме работы равен 0,635, а при трехсменном - 0,688. Определено, что в результате девятилетней эксплуатации указанных линий не реализовано 22% их производительных возможностей, оговоренных проектом. Это явилось причиной того, что за девять лет эксплуатации было реализовано только около 32% экономического эффекта, определенного при проектировании линий исходя из условия полной реализации их производительных возможностей при работе в две смены. Заводом-потребителем за девять лет эксплуатации линий не получено около 250 тыс. рублей прибыли, а срок окупаемости увеличился более чем в два раза.

В ы в о д ы

I. В работе на основе комплексного исследования рассмотрены методы количественной оценки надежности и производительности станочных линий на стадии их проектирования, изготовления и эксплуатации для чего разработаны:

- классификация причин простоев и отказов линий;
- типовая структура распределения фонда времени работы линии;
- система количественных показателей надежности и производительности линии;

- методика получения статистических данных с помощью самопишущих приборов, обеспечивающих высокую точность и достоверность количественных оценок надежности линии;

- методика математической обработки статистических данных с определением точности и достоверности полученных в результате исследований значений показателей надежности и производительности линий;

методика осреднения показателей надежности типовых и нормализованных элементов по результатам исследования ряда линий; инженерная методика расчета надежности и производительности линий на стадии их проектирования;

методика контроля надежности и производительности линий при приемо-сдаточных испытаниях на заводе-изготовителе и на заводе-потребителе.

2. Результаты исследования позволяют:

ввести определенные требования к уровню надежности и производительности в технические задания на проектирование и технические условия на изготовление и поставку линий;

производить на стадии проектирования выбор наиболее оптимальной компоновки линии с точки зрения обеспечения заданной производительности;

графически или с помощью разработанной таблицы производить оценку соответствия фактического уровня безотказности заданному (расчетному) по результатам приемо-сдаточных испытаний линии на заводе-изготовителе в течение двух-трех смен;

производить оценку фактического уровня надежности и производительности линии и соответствия его заданному (расчетному) по результатам приемо-сдаточных испытаний на заводе-потребителе в течение восьми-десяти смен;

с достаточной для практики точностью и достоверностью получать за 25-30 смен эксплуатации значения показателей надежности и производительности линии и ее элементов.

3. На основании результатов исследования определены значения показателей надежности типовых и нормализованных узлов конструкции Минского СКБ-АЛ, используемые при расчете надежности и производительности линий на стадии их проектирования.

4. В результате исследования установлено, что производительные возможности линий с течением времени эксплуатации (8-10 лет) несколько повышаются за счет сокращения затрат времени на обработку деталей и потерь времени вследствие отказов и технического обслуживания оборудования и инструментов. Поэтому значения показателей надежности и производительности линий, полученные в результате исследования или расчета по статистическим данным, на ближайший период можно принять практически постоянными.

5. Показана роль предохранительных и защитных устройств как эффективного средства диагностики отказов и предохранения режущих инструментов и деталей механизмов линий.

6. Установлено, что на уровень надежности и производительности линий большое влияние оказывают условия эксплуатации, и, в особенности, квалификация обслуживающего персонала. Число отказов, обусловленных условиями эксплуатации, в некоторых случаях составляет 70-90% от общего числа отказов. Потери времени на восстановление работоспособности оборудования, подналадку и замену режущих инструментов за счет повышения квалификации обслуживающего персонала могут быть снижены в 1,5-2,0 раза.

7. Дан анализ путей и методов повышения надежности и производительности линий на стадии их проектирования, изготовления и эксплуатации. В процессе исследования на основании анализа влияния различных факторов, разработаны и внедрены в Минском СКБ-АЛ, на МЗАЛ и на многих заводах-потребителях конкретные инженерные рекомендации по повышению надежности и производительности более 200 исследованных и вновь спроектированных автоматических линий, что дало значительный экономический эффект.

8. Анализ эксплуатационной надежности и производительности автоматических линий и уровня организации их эксплуатации показывает, что в настоящее время проведение ряда технических и организационных мероприятий на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации позволяет повысить общий коэффициент использования линий из агрегатных станков до 0,7-0,8 и обеспечить полную реализацию их производственных возможностей. Особенно эффективно внедрение системы рациональной эксплуатации и организации труда обслуживающего персонала, что позволит резко повысить эффективность линий без каких-либо дополнительных капитальных затрат.

Результаты настоящей работы внедрены в качестве руководящих материалов в практику проектирования автоматических линий в Минском СКБ-АЛ, приемо-сдаточных испытаний на МЗАЛ и организации эксплуатации линий на многих заводах-потребителях (МТЗ, ВрТЗ, ГАВ и др.). Некоторые результаты исследования использованы в разработанных при участии автора руководящих материалах и отчетах ЭНИМС по рассматриваемой проблеме.

Правомерность предложенных в диссертационной работе методов исследования, ценки и повышения уровня производственных возможностей линий и обеспечения более полной их реализации подтвер-

дена опытом эксплуатации линий МЗАЛ на многих машиностроительных заводах страны.

По материалам диссертационной работы сделаны доклады:

на совместном совещании научно-технического совета Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР, ЭНИМАШ и Главной Инспекции по качеству продукции МСиИП, Минск, 1969;

на XXVI и XXVII научно-технических конференциях Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института, Минск, 1970 и 1971;

на заседании междуведомственного Совета по надежности при Совете Министров БССР, Минск, март 1971;

на научно-техническом совете Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР, 1971;

на объединенных технических советах Минского СКБ-АЛ и Минского завода автоматических линий (МЗАЛ) в течение 1963-1971;

на технических советах и совещаниях руководящих работников заводов-заказчиков (МТЗ, ВгТЗ, ГАЗ, ШААЗ, ХЗКВ и др.) в течение 1963-1971.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. ДЕМБОВСКИЙ Л.М., КОНОХ А.И., ПОПЛАВСКИЙ В.С. Применение регистрирующих приборов при обследовании станков и автоматических линий. Листок технической информации. ИНТИП, Минск, 1964.
2. ДЕМБОВСКИЙ Л.М., КОНОХ А.И., ПОПЛАВСКИЙ В.С. Применение регистрирующих приборов при обследовании станков и автоматических линий. Сб. "Применение средств механизации для определения загрузки и надежности работы оборудования", М., ГОСИНИТИ, 1965.
3. ТУДЛЕР А.Г. и КОНОХ А.И. Анализ эксплуатационной надежности автоматических линий. "Станки и инструмент", 1966, № 9.
4. ТУДЛЕР А.Г. и КОНОХ А.И. Повышение надежности и производительности автоматических станочных линий. "Механизация и автоматизация производства", 1967, № 2.

5. ГОМАН М.Г., КОНОХ А.И., РАПУНОВИЧ А.Г., УЗИЛЕВСКИЙ В.С. Автоматические линии для обработки корпусных деталей. М. НИИМАШ. 1968.
6. ТУЛЛЕР А.Г. и КОНОХ А.И. Надежность и производительность автоматических станочных линий. М., НИИМАШ, 1968.
7. КОНОХ А.И. и ФУРЕМС А.А. Авторский надзор и качество оборудования. "Машиностроитель", 1969, № II.
8. ТУЛЛЕР А.Г. и КОНОХ А.И. О контроле надежности и производительности автоматических станочных линий. Приложение "Надежность и контроль качества" к журналу "Стандарты и качество", 1969, № 9.
9. КОНОХ А.И. и ЭЛЬНЕР Г.Л. Защитные и предохранительные устройства в автоматических линиях. "Механизация и автоматизация производства", 1970, № 3.
10. КОНОХ А.И. и СИДОРЕНКО Ю.Н. Устройство для сборки. Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР. 1970, № 33.
11. ЯЩЕРИЦЫН П.И., КОНОХ А.И., ПЛАШЕЙ Г.И. Расчет показателей надежности и производительности автоматических линий. "Механизация и автоматизация производства", 1970, № 10.
12. ЯЩЕРИЦЫН П.И., ПЛАШЕЙ Г.И., КОНОХ А.И. Количественные показатели надежности и производительности автоматических станочных линий. Приложение "Надежность и контроль качества" к журналу "Стандарты и качество", 1971, № 4.
13. ТУЛЛЕР А.Г. и КОНОХ А.И. Влияние эксплуатационных факторов на уровень надежности и производительности автоматических линий. "Механизация и автоматизация производства", 1971, № 2.
14. ЯЩЕРИЦЫН П.И., ПЛАШЕЙ Г.И., КОНОХ А.И. О производительных возможностях автоматических линий. "Механизация и автоматизация производства", 1971, № . (в печати).
15. Инструкция по организации эксплуатации автоматических линий. Руководящий материал. Участник работы - Коных А.И. ЭНИМС, М., 1970г.
16. АВЦИН В.И., КОНОХ А.И. и др. Методика исследования автоматических линий в условиях эксплуатации. Под редакцией Л.С.Брона. Руководящий материал., ЭНИМС, М., 1971.

АТ03181. Подписано в печать 5.IV.71г.

Формат 60 x 84 ¹/16. 1,8 печ.л., 1,9 уч.-изд.л. Тир.200
зак.349.

БПИ, Минск, Ленинский пр,65.