

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

КУПРИЯНОВ Анатолий Павлович

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЛИТЕЙНЫХ ЛИНИЙ

(05.04.04—Машины и агрегаты металлургического
производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент О. А. Беликов.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор В. М. Шестопад,
кандидат технических наук, доцент И. В. Матвеевко.

Ведущее предприятие — НИИТАВТОПРОМ.

Автореферат направлен « »

1973 г.

»

1973 г.

автоматизация и механи-
Э. Баумана по адресу:

веренные печатью, про-

ться в библиотеке Учи-

М 202541

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Ю. А. Степанов.



Сущность настоящей работы состоит в установлении закономерностей образования случайных цикловых и внецикловых потерь производительности литейных линий и в изыскании путей сокращения этих потерь.

Новыми теоретическими положениями можно считать:

1. Установление закономерностей формирования цикла литейных линий с учетом случайных колебаний в продолжительности совершения отдельных операций и циклов отдельных технологических агрегатов, из которых komponуются линии различных структур.

2. Решение задачи о влиянии количества спутников в замкнутой системе массового обслуживания на вероятность простоев обслуживающих агрегатов, которое использовано для расчета количества опок, циркулирующих в литейной линии.

3. Разработка математической модели работы трехучастковой линии замкнутой структуры.

4. Уточнение представлений о влиянии технических параметров участков на производительность линий с гибкими связями.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Разработаны пути сокращения цикловых потерь, вызванных нестабильностью времени совершения операций при различных принципах построения систем управления и структуры линий, что обеспечивает существенное повышение их производительности.

2. Получены аналитические зависимости для расчета количества опок (спутников) в многоучастковых литейных линиях замкнутой структуры, при котором обеспечивается максимально возможная производительность линий.

3. Сформулированы математические условия создания на многоучастковых линиях замкнутой структуры технологических зон, обеспечивающих качественное ведение технологических процессов вне зависимости от возникновения отказов оборудования.

4. Разработана методика расчета емкости накопителей трехучастковой линии замкнутой структуры на ЭЦВМ.

Экономический эффект от работы достигается за счет увеличения производительности вновь проектируемых и модернизации действующих линий путем реализации разработанных рекомендаций.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1202541

Куприянов А.П. Анализ пут

ВВЕДЕНИЕ

XXIV съезд КПСС поставил перед работниками народного хозяйства задачу добиться в текущем пятилетии получения до 80% намеченного прироста национального дохода и до 90% намеченного прироста выпуска промышленной продукции за счет роста производительности труда. Ответственные задачи в выполнении народнохозяйственных планов стоят и перед работниками литейного производства, в связи с необходимостью увеличения выпуска литья за пятилетие на 20%. Первостепенное внимание при этом уделяется увеличению количества работающих в литейных цехах автоматических линий по производству литья в разовые песчаные формы, поскольку этим способом в настоящее время производится до 75% всего литья, выпускаемого в СССР. В текущем пятилетии только по проектам одного института НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ намечено изготовить и внедрить в литейных цехах более 60-ти автоматических литейных линий (АЛЛ). В то же время опыт эксплуатации в прошедшем пятилетии 30-ти АЛЛ, изготовленных по проектам различных организаций, показал, что их производительность еще не полностью отвечала предъявляемым требованиям. Велики были потери производительности на них из-за недостаточной надежности механизмов и агрегатов и трудностей в достижении паспортной производительности.

Успешное выполнение задач, поставленных XXIV съездом КПСС, требует от работников литейного производства проведения тщательного анализа всех резервов производительности действующего оборудования и максимальной реализации этих резервов при создании новых образцов автоматического литейного оборудования.

В связи с этим, целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное исследование резервов повышения производительности АЛЛ и разработка рекомендаций по их реализации.

• ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Основы отечественной науки о производительности и надежности машин, автоматов и линий заложены трудами советских ученых: С.И.Артоболовского, Г.А.Шаумяна, А.П.Владзиевского, Ю.Б.Эрпшера. Значительное развитие направлений в рассматриваемой области связано с работами Волчкевича Л.И., Кордонского Х.Б., Меламеда Г.И., Проникова А.С., Шора Я.Б., а в области литейного машиностроения - Аксенова И.И., Беликова О.А. и других.

В работах, посвященных исследованию производительности автоматических линий, принято подразделять все потери производительности на цикловые и внецикловые. Считается, что цикловые потери строго регламентированы. Однако, кроме них в цикле имеются потери, величина которых является случайной. На АЛЛ они вызываются случайными колебаниями в продолжительности совершения отдельных операций, в том числе и технологических. Несмотря на то, что величина этих цикловых потерь составляет 10% и более, в технической литературе сведения о них практически отсутствуют. В работах MBTU установлено, что на формирование длительности цикла линии существенное влияние оказывают принцип построения системы управления и структура линии. Наличие этих скрытых потерь в ряде случаев являлось причиной того, что на практике не достигали паспортной производительности линий.

Достаточно полно в литературе отражены вопросы влияния структуры металлообрабатывающих линий на величину внецикловых потерь (потери из-за отказов оборудования). Большое внимание уделяется введению на линиях межагрегатных накопителей, как важному средству повышения производительности. Теоретические и экспериментальные исследования проведены для двухучастковых линий разомкнутой структуры.

АЛЛ имеют структуру, принципиально отличающуюся от большинства линий металлообработки, а именно, структуру с замкнутым потоком опок. При этом, на большинстве АЛЛ можно выделить три основных участка: формовки-сборки, грузоукладки-заливки и выбивки.

Исследования влияния емкости накопителей на производительность трехучастковых линий замкнутой структуры в литературе не нашли отражения. В то же время количество опок, находящихся в замкнутой системе существенно влияет на производительность АЛЛ, а время пребывания их на отдельных участках линии — на качество технологического процесса. Тем не менее до настоящего времени задача определения оптимального количества опок оставалась нерешенной, хотя она и имеет важное значение для замкнутых систем массового обслуживания.

Вышеуказанное позволяет сформулировать задачи исследований:

1. Установить влияние принципов построения систем управления и структуры литейных линий на уровень цикловых потерь производительности при случайной продолжительности отдельных операций и циклов агрегатов линии. Разработать рекомендации по сокращению этих потерь.

2. Исследовать функционирование линий с замкнутой системой транспорта спутников и гибкими межагрегатными связями, включающее:

- определение влияния количества опок на производительность линии и оптимального количества опок на линии;
- анализ влияния межагрегатных накопителей на производительность литейных линий и разработку методики расчета их емкости.

Экспериментальные исследования выполнены в литейных цехах страны, в которых эксплуатируются АЛЛ, в лаборатории кафедры "Машины и автоматизация литейных процессов" МВТУ им. Баумана и в вычислительном центре ЦСУ СССР.

ГЛАВА П. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ЦИКЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛЛ.

Цикл линии формируется из нескольких последовательных или параллельно-последовательных операций, длительность которых является величиной случайной, и как установлено, подчиняющейся нормальному закону распределения. Коэффициент нестабильности операций - φ находится в пределах $\varphi = \frac{\sigma \bar{t}}{\bar{t}} = 0,1+0,6$, большие значения которого относятся к менее продолжительным операциям, σ_t - параметр нормального распределения, а $\bar{t}$ - средняя продолжительность операций.

Формирование длительности цикла обусловлено принципом построения системы управления, который может быть: рефлекторным с применением программного релейного коммутатора (РК), по которому команда на последующую операцию подается по сигналу о качественном завершении предыдущей; с применением командоаппарата шагового действия, (ПШ), когда каждая последующая операция начинается по завершении предыдущей и после перехода командоаппарата на один шаг, и с применением командоаппарата непрерывного действия (ПН), когда команды на совершение операций следуют в заранее заданной последовательности и через заданные интервалы времени. Для данных систем формирование средней длительности цикла определяется следующими зависимостями:

$$\bar{T}_{PK} = \sum_{q=1}^S t_q \left[\prod_{j=1}^m P_j \{T_j < t_q\} - \prod_{j=1}^m P_j \{T_j < t_{q-1}\} \right]; \quad (1)$$

$$\bar{T}_{\text{пш}} = \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^s t_q \left[\prod_{j=1}^m P_{ji} \{t_{ji} < t_q\} - \prod_{j=1}^m P_{ji} \{t_{ji} < t_{q-1}\} \right] + \tau \cdot k ; \quad (2)$$

$$\bar{T}_{\text{пн}} = \max_m \sum_{i=1}^n (\bar{t}_{ji} + 3\sigma_{t_{ji}}) , \quad (3)$$

где $P_j \{T_j < t_q\}$ - функция распределения величины цикла j -того из m - автоматов;

$P_{ji} \{t_{ji} < t_q\}$ - функция распределения продолжительности i -той из n - операций на j -том автомате;

τ - время перехода шагового командоаппарата с позиции на позицию, k - число его позиций, $K \geq n$.

Анализ зависимостей (1,2,3) и проверка полученных результатов методом статистических испытаний с использованием физического моделирования позволили установить, что наибольшие цикловые потери производительности до 10% и более имеют линии с системой управления ПН, несколько меньше (5-7%) с системами ПШ и минимальные - РК. Чем меньше цикл, тем выше потери по системе управления. С повышением стабильности времени совершения операций цикловые потери уменьшаются.

ГЛАВА III. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ЛИНИИ НА УРОВЕНЬ ЕЕ ЦИКЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ.

По типу применяемых межагрегатных транспортных систем АЛД делятся на линии с жесткими и гибкими связями, а по количеству установленных формовочных блоков - на одноблочные и многоблочные. Линии с жесткими связями работают на непрерывно движущийся (НД) или пульсирующий (П) тележечный конвейер. Для i -блочных линий с П-конвейером цикл линии формируется по наиболее продолжительному циклу формовочного блока $T_{\text{фк}}$ в данный момент. Среднее значение цикла линии $\bar{T}_\Lambda$ определяется по формуле:

$$\bar{T}_\Lambda = \sum_{q=1}^s t_q \left[\prod_{k=1}^i P_k \{T_{\text{фк}} < t_q\} - \prod_{k=1}^i P_k \{T_{\text{фк}} < t_{q-1}\} \right] . \quad (4)$$

Если для i - блочных линий с НД-конвейером, формовочный блок не успевает подготовить форму к приходу очередной тележки, то он выставляет ее на очередную незанятую тележку.

Для одноблочных и двухблочных линий с НД-конвейером цикл линии $\bar{T}_\Lambda$ определяется по формуле:

$$\bar{T}_\Lambda = T_{\Lambda k} [1 + 1 - (P_\Phi \{T_\Phi < T_{\Lambda k}\})^L] \cdot L^{-1} \quad (5)$$

Анализ зависимости (4) и статистические испытания показали, что минимальные цикловые потери имеют одноблочные линии. С увеличением количества формовочных блоков цикловые потери увеличиваются. Этот вывод был подтвержден исследованиями работы четырехблочной линии ПМЗ им.Калинина. Ее цикловые потери составляют 8,7%. Из линий с НД-конвейером максимальные цикловые потери имеют одноблочные линии, так, например, на линии диафрагменного прессования ГАЗ они составляют 9,1%. С увеличением количества формовочных блоков цикловые потери на этих линиях уменьшаются, однако в целом они остаются более высокими, чем у линий с П-конвейером. При закреплении тележек НД-конвейера за формовочными блоками цикловые потери этих линий становятся одинаковыми с одноблочными. На уровень цикловых потерь линий с НД-конвейером заметное влияние оказывает его скорость. Так, для одноблочных линий уменьшение цикла конвейера по сравнению с максимальным циклом формовочного автомата приводит к снижению цикловых потерь, но в этом случае приходится периодически останавливать конвейер с тем, чтобы не допустить пропуска свободных тележек. На многоблочных линиях с НД-конвейером на уровень цикловых потерь оказывает влияние и средняя длительность цикла формовочных автоматов. Если цикл формовочных блоков увеличивается по ходу конвейера, то цикловые потери линии минимальны по сравнению с любым другим вариантом.

Исследования показали, что при введении межагрегатных накопителей в две опoki цикловые потери АЛД значительно сокращаются, а при настройке цикла агрегатов, не лимитирующих производительность линии, на 3-5% меньше по сравнению с циклом формовочных блоков, структура линий не оказывает влияния на увеличение цикловых потерь производительности.

Исследование влияния структуры автоматов на уровень цикловых потерь производительности показало, что цикловые потери отсутствуют у однопозиционных автоматов и возрастают с увеличением числа позиций.

ГЛАВА IV. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОПОК (СПУТНИКОВ) НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛИНИИ

Для исследования влияния количества опок (спутников) в замкнутой системе на ее производительность были применены методы теории массового обслуживания. С этой целью было сделано допущение о том, что время обслуживания каждой очередной опоки на участке подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром - μ_i , а поток заявок на обслуживание, поступающий с предыдущего участка, является "простейшим". Рассматривалась система с очередями, равными емкости накопителей. Дисциплина очереди принималась естественная: "первым пришел - первый обслужен". Если автомат занят, вновь поступившая опока (заявка) становится в очередь. Объем накопителя - ℓ_i с учетом технологической позиции i -того автомата и количество опок - N в системе - ограничены. Опоки проходят поочередное обслуживание на агрегатах линии и не покидают систему обслуживания. Состояния системы связывались числом опок, находящихся в меж-агрегатных накопителях. Рассматривались: двухучастковая замкнутая система, состоящая из двух участков и двух накопителей, трехучастковая и ∞ - участковая линии.

На основе анализа вероятностей поступления заявок и их обслуживания составлялись дифференциальные уравнения для вероятностей пребывания системы в различных состояниях. Так, для двухучастковой линии при $\ell_1 \geq N \geq \ell_2$, дифференциальные уравнения были получены в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dP_{qN}(t)}{dt} &= -\mu_2 \cdot P_{qN}(t) + \mu_1 \cdot P_{n_1, n_2}(t); \\ n_1 &= 0, \quad n_2 = N, \\ \frac{dP_{n_1, n_2}(t)}{dt} &= -(\mu_1 + \mu_2) \cdot P_{n_1, n_2}(t) + \mu_1 \cdot P_{n_1+1, n_2-1}(t) + \\ &+ \mu_2 \cdot P_{n_1-1, n_2+1}(t); \quad 1 \leq n_1 < N, \quad n_1 + n_2 = N, \\ \frac{dP_{M0}(t)}{dt} &= -\mu_1 \cdot P_{M0}(t) + \mu_2 \cdot P_{N-1, 1}(t), \quad n_2 = 0, \quad n_1 = N, \end{aligned} \quad (6)$$

где $P_{n_1, n_2}(t)$ - вероятность того, что в момент времени t в накопителе H_1 первого автомата находится n_1 - опок, а в H_2 - n_2 ;
 $P_{qN}(t)$ и $P_{M0}(t)$ - соответственно вероятности простоев первого и второго автоматов.

В соответствии с теоремой Маркова для стационарного режима указанные вероятности не зависят от времени. Решая (6), имеем:

$$P_{0N} = \frac{1-\rho}{1-\rho(N+1)}, \quad (7)$$

где $\rho = \frac{\mu_2}{\mu_1}$, то есть функция $P_{0N}(N)$ - убывающая, производительность системы увеличивается с увеличением количества опок. Связывая состояние системы с числом вакансий (W) в накопителе, составляя и решая дифференциальные уравнения, получаем:

$$P_{n, \delta, n_2} = \frac{1-\rho}{1-\rho(W+3)}, \quad (8)$$

где P_{n, δ, n_2} - вероятность состояния блокировки первого автомата.

Решая (7) и (8) с учетом того, что в одном из состояний системы эти вероятности должны быть равны, приходим при $\ell_1 = \ell_2$ к выражению:

$$N_{онт} = \ell + 1,$$

а при $\ell_2 > \ell_1$ $N_{онт} = \ell_1 + 1$, причем, если $N = \ell_2 + 1$, то вероятность простоев не увеличивается, а в накопителе H_2 с вероятностью равной единице находятся $\ell_2 = (1 + \ell_2 - \ell_1)$ - опок. Это условие определяет возможность создания технологической зоны с постоянным пребыванием в ней соответствующего количества опок.

В результате составления дифференциальных уравнений для вероятностей состояний трехчастковых линий и решения их с помощью производящей функции

$$F(x, y) = \sum_{n_1=0}^N \sum_{n_2=0}^N P_{n_1 n_2} \cdot x^{n_1} \cdot y^{n_2}$$

получено уравнение $N_{онт}$ для трехчастковой линии, для которой также сформулированы условия создания технологических зон.

С использованием метода математической индукции уравнение для Z - участковой линии получено в виде:

$$N_{онт} = \frac{\sum_i L_i}{2} + Z, \quad (9)$$

где L_i - емкость i -того накопителя без учета технологической позиции i -того автомата.

С учетом числа позиций A_i i -того участка, охваченных жесткой связью, уравнение (9) принимает вид:

$$N_{онт} = \frac{\sum_i L_i}{2} + Z + \sum_i A_i. \quad (10)$$

Эта зависимость является основной для расчета количества опок (спутников) на АЛД замкнутой структуры с гибкими связями.

ГЛАВА У. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХУЧАСТКОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ ЛИНИИ

С целью исследования влияния емкости накопителей на производительность трехучастковой линии, а также для экспериментальной проверки зависимости (10) разработана математическая модель литейной линии для решения задач на ЭЦВМ методом статистических испытаний ("Монте-Карло"). В качестве входных параметров приняты: наработка на отказ, среднее время восстановления и емкость накопителей участков, выраженные в циклах работы линии, а также количество опок в замкнутой системе.

В основу математической модели положен метод переноса начала отсчета на оси времени при наступлении очередного события: отказа в работе участка, восстановления его работоспособности, переполнение накопителя или исчерпание в нем запаса опок, приводящее к остановке соответствующего автомата, а также технологическое запаздывание на один цикл, после которого начинает работать автомат, ранее простаивавший из-за отсутствия опок в его накопителе. Предусмотрено введение транспортного запаздывания. Момент наступления очередного события определяется решением ряда неравенств и уравнений, основными из которых является система уравнений по определению состояния "работы" участков, записанная в виде формул алгебры логики:

$$\begin{aligned} C_1 &= R_1 \cap D_1 \cap (W_2 \cup C_2), \\ C_2 &= R_2 \cap D_2 \cap (W_3 \cup C_3), \\ C_3 &= R_3 \cap D_3 \cap (W_1 \cup C_1), \end{aligned} \quad (12)$$

которая решается итерационным методом; где C_i - идентификатор состояния работы участка: $C_i=1$ - автомат работает, $C_i=0$ - автомат стоит, R_i - идентификатор состояния работоспособности, $R_i=1$ - автомат исправен, $R_i=0$ - неисправен, D_i, W_i - соответственно количество опок и вакансий в i -том накопителе. В качестве выходного параметра принят коэффициент наложения простоев участков. Объем статистических испытаний определялся с учетом получения 5-7% точности результатов с доверительной вероятностью 0,95 с использованием неравенства Чебышева и про-

ведением предварительных статистических испытаний для определения дисперсии коэффициента наложения простоев в интервале $0,1 \leq \delta \leq 0,97$. Проверка математической модели при статистических испытаниях графоаналитическим методом подтвердила ее правильность.

Для определения значений входных параметров были проведены исследования работы десяти отечественных литейных линий по методике, разработанной в МВТУ им. Баумана, на основе которых определены для статистических испытаний значения параметров: $\bar{t}_n$ - среднего времени восстановления агрегатов - 2+15 циклов, $\bar{t}_p$ - наработка на отказ - 4+300 циклов, при удельных простоях участков $\beta_c = \frac{\bar{t}_n}{\bar{t}_p} = 0,05+0,5$. Для сравнения результатов с получаемыми при исследовании станочных линий емкость накопителей принималась: $\ell_c = 5+100$ циклов.

ГЛАВА VI. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХУЧАСТКОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ ЛИНИИ.

Исследование математической модели трехучастковой линии замкнутой структуры проводилось на ЭЦВМ "Минск-22". В результате исследований при различных значениях входных параметров, подтверждена зависимость (9) для расчета оптимального количества опок на литейной линии.

Любое отклонение в количестве опок в большую или меньшую сторону по сравнению с рассчитанным по формуле (9) приводит к увеличению внецикловых потерь АЛЛ.

Проведенные исследования показали, что применение на литейных линиях ограниченных накопителей емкостью 5+20 опок приводит к существенному росту производительности линий. Например, при $\beta = 0,15+0,25$, $\bar{t}_n = 5$ циклов, $\ell_c = 5+20$ опок, прирост производительности составляет от 7 до 30%.

Изменение прироста производительности не пропорционально увеличению емкости накопителей. Максимальный прирост происходит до величины емкости, рассчитанной на 20-30 циклов работы участков.

Дальнейшее увеличение емкости накопителей до 100 циклов приводит к незначительному повышению уже достигнутого прироста производительности. Это имеет особое значение для АЛЛ, т.к.

максимальный прирост производительности достигается без увеличения занимаемых линиями площадей и количества опок, стоимость которых составляет до 20% от стоимости всей линии.

Установлено, что при одинаковых удельных простоях, прирост производительности в значительной мере зависит от среднего времени восстановления участков, например, для $\bar{t}_n = 5$, $\delta_n = 0,5$, при изменении $\bar{t}_n$ с 3,75 до 15 циклов прирост производительности уменьшается в 3 раза, а для $\bar{t}_n = 100$ в 1,1 раза, то-есть, при прочих равных условиях, агрегаты, имеющие большее среднее время восстановления, лимитируют производительность линий.

Установлено, что для одной и той же емкости накопителей, выраженной не в циклах, а в минутах работы линии, коэффициент наложенных простоев не является постоянным при различной продолжительности цикла, колебания величины δ при четырехкратном изменении величины цикла достигают 45%.

Анализ распределения уровня опок в накопителях позволил сделать ряд выводов, в том числе о времени нахождения опок в накопителях, что особенно важно для участков охлаждения.

В работе приводится методика расчета емкости накопителей трехучастковых линий замкнутой структуры на ЭЦВМ, а также результаты исследований модели линии при различных значениях входных параметров участков.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

С целью сокращения цикловых и внецикловых потерь производительности автоматических литейных линий необходимо руководствоваться следующим:

А. При проектировании, модернизации и эксплуатации действующих линий:

1. Применять для управления совершением операций на литейных автоматах систему управления, построенную по рефлекторному принципу с использованием релейного коммутатора (контактного, бесконтактного или на логических элементах).
2. Предусматривать осуществление мероприятий, повышающих стабильность времени совершения отдельных операций на минимально возможном и технологически целесообразном уровне.
3. На многооблочных линиях с непрерывно движущимся литейным конвейером при изготовлении форм, требующих различной

продолжительности совершения технологических операций, необходимо распределять их по формовочным автоматам в порядке возрастания длительности цикла.

4. Для многоблочных литейных линий с жесткими связями рассчитывать необходимое количество опок и настраивать скорость литейного конвейера с учетом рекомендаций, приведенных в работе.

5. Предусматривать на линиях введение межагрегатных накопителей емкостью не менее чем на две опоки или формы каждый. Настраивать цикл агрегатов, нелимитирующих производительность линии, на 3-5% меньше, чем длительность цикла формовочных автоматов.

6. Учитывать, что применение на литейных линиях накопителей емкостью в 5-20 опок или форм, приводит к увеличению производительности на 7-30%. Предусматривать введение на участках межагрегатных накопителей вместо жестких транспортных связей той же протяженности.

7. Расчет накопителей трехчастковой линии замкнутой структуры вести по методике, приведенной в работе.

8. Для автоматических линий с гибкими связями устанавливать количество опок, необходимое для их эффективной работы, из расчета половины суммарной емкости установленных накопителей и суммарного количества позиций на участках, охваченных жесткими связями.

9. На литейных линиях с гибкими связями на участках охлаждения предусматривать создание технологических зон, с постоянным пребыванием в них необходимого количества форм. Для регламентирования общего времени охлаждения отливок применять выбивку с продавливанием кома, с последующим его охлаждением вне опок на транспортных средствах, позволяющих при смене модельной оснастки регулировать режимы охлаждения.

Не рекомендуется для многоблочных литейных линий:

- 1) применять пульсирующий тележечный литейный конвейер;
- 2) предусматривать сборку форм на непрерывно движущемся тележечном литейном конвейере;
- 3) применять на непрерывно движущемся литейном конвейере закрепление тележек за формовочными блоками.

Б. При теоретических и экспериментальных исследованиях влияния емкости накопителей на производительность автоматических линий необходимо использовать:

1) вместо удельных простоев участков их наработку на отказ и среднее время восстановления;

2) величины - среднего времени восстановления, наработки на отказ и емкости накопителей, выраженные в циклах работы линии, а не в других единицах (например, в минутах).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана, исследована и экспериментально проверена математическая модель формирования длительности цикла автоматических литейных линий с учетом случайной продолжительности отдельных операции и цикла отдельных агрегатов, что позволило установить влияние принципов построения систем управления и структуры линий на уровень цикловых потерь производительности и разработать рекомендации по сокращению этих потерь.

2. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияния количества опок (спутников), находящихся в замкнутой системе на производительность литейных линий. На основании исследований разработан метод определения оптимального количества опок, практическое использование которого позволяет обеспечить максимальную производительность линий. Разработанные рекомендации используются НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ при расчете количества опок для автоматических линий с гибкими связями.

3. Разработана математическая модель трехучастковой литейной линии с замкнутым потоком опок (спутников) и межагрегатными накопителями, исследование которой на ЭЦВМ методом статистических испытаний ("Монте-Карло") позволило решить ряд теоретических и практических задач по влиянию параметров участков на производительность и по применению накопителей на литейных линиях.

4. Разработана методика расчета межагрегатных накопителей трехучастковой линии с замкнутым потоком опок на ЭЦВМ.

5. Рекомендации по сокращению потерь производительности для линий с гибкими связями внедрены на линиях НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ, что позволило повысить их производительность на

11% и получить экономический эффект 200 тыс. руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах.

1. Беликов О.А., Большев И.А., Куприянов А.П. Эксплуатационная надежность автоматических формовочных линий. "Кузнечно-прессовое и литейное оборудование", 1966, № 3.

2. Беликов О.А., Куприянов А.П., Большев И.А. Некоторые вопросы повышения надежности и производительности автоматических формовочных линий. Сб. "Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении", М., машиностроение, 1967.

3. Беликов О.А., Куприянов А.П. Надежность работы участков формовки автоматических формовочных линий. ЛДНТП, 1967.

4. Куприянов А.П. Эффективность применения гибких транспортных связей на автоматических формовочных линиях. "Литейное машиностроение". 1968, № 4-5.

5. Беликов О.А., Куприянов А.П., Панкратов А.И. Коэффициент технического использования автоматических формовочных линий. "Литейное производство", 1969, № II.

6. Беликов О.А., Куприянов А.П., Панкратов А.И. Анализ и методы повышения надежности автоматических формовочных линий. "Литейное производство", 1970, № I.