

М 175 016

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

А. И. ПАНКРАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ

(Специальность 05.166—«Оборудование и машины литейного
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
имени Н. Э. Баумана.

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

Официальные оппоненты —
доктор технических наук, профессор В. М. Шестопал,
кандидат технических наук Э. Ф. Княн.

Ведущее предприятие — НИИТАВТОПРОМ.

Автореферат разослан « » 1972 г.

Защита диссертации состоится « » 1972 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизации и механиз-
зации производственных процессов» МВТУ им. Н. Э. Баума-
на по адресу: Моск

С диссертаци
им. Н. Э. Баума

Ваши отзывы
ные печатью, пр

Уч

канд. техн. на

В.

M175016

ВВЕДЕНИЕ

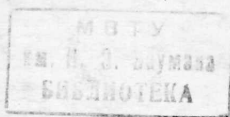
М 175016

Одной из важнейших задач, поставленных XXIV съездом КПСС, является широкое внедрение комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Особенно важное значение приобретает автоматизация в областях техники с трудоемким производством и тяжелыми условиями труда. В первую очередь это относится к производству отливок в разовых песчано-глинистых формах, объем которых в общем выпуске литья составляет около 75%. В настоящее время в литейных цехах страны действуют уже более 30 автоматических формовочных линий (АФЛ), а в 1971-1975 гг. планируется внедрение еще нескольких сот линий. Но, как показывает опыт эксплуатации, АФЛ имеют большие потери производительности, примерно половина которых происходит из-за несовершенства конструкции агрегатов и структурной схемы. Это вызывает необходимость использования различных средств и методов увеличения надежности АФЛ, включая разработку научно-обоснованных направлений повышения работоспособности с использованием обобщенного опыта эксплуатации действующих формовочных линий. Обязательным условием для этого является разработка методики получения показателей работоспособности с требуемой точностью и достоверностью.

Важным вопросом при проектировании АФЛ является выбор рациональной структурной схемы. Большой объем разнообразных технологических операций позволяет создавать линии с различными вариантами структурных схем. В связи с этим появилась необходимость разработки методов оценки их работоспособности на стадии проектирования.

Целями настоящей работы являются: разработка методики определения показателей работоспособности действующих формовочных линий с заданной точностью и достоверностью, разработка методики оценки уровня работоспособности линий различных структурных схем с учетом особенностей построения технологического процесса изготовления форм и на основе этих методик проведение на стадии проектирования сравнительного анализа и определение основных направлений повышения надежности линий при создании новых или модернизации действующих АФЛ.

Экспериментальная часть работы выполнена на базе автоматических формовочных линий заводов ЗИЛ, ГАЗ, ленинградского Кировского, "Станколит", "Центролит" (г. Рязань), "Ростсельмаш" и



Диссертация состоит из пяти глав.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В технической литературе (работы ВНИИЛИТМАШ, МВГУ им. Баумана, НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ и др.) в настоящее время имеется большое количество данных о надежности АФЛ. Однако эти данные получены на основе различных методик, достоверность и точность их не указана, что ограничивает использование приводимых данных для объективной оценки надежности линий и агрегатов. Получение достоверных и точных данных по единой методике особенно важно при исследовании работы большого количества линий. Это позволяет выявить объективный уровень надежности различных технологических и транспортных агрегатов, выбирать наиболее удачные конструктивные решения, находить "узкие места" в технологической цепочке агрегатов, указать направления работы по повышению работоспособности и производительности линий. При исследованиях надежности работы автоматических формовочных линий, проведенных различными авторами, не учитывалось своеобразие их структур, влияние размера опок, метода уплотнения смеси, теплового режима формы и т.д.

На формирование структурной схемы автоматической формовочной линии оказывают влияние требуемая производительность, серийность выпуска и сложность отливок, ограниченное время пребывания металла в разливочном ковше и формовочной смеси на транспортерных лентах и в опоках. Большое разнообразие вариантов компоновки и отсутствие систематизации структурных схем линий затрудняет выбор наиболее рациональных решений. Для многих вариантов не разработаны методы, позволяющие на стадии проектирования производить количественную оценку работоспособности формовочных линий, что затрудняет проведение объективного анализа структурных схем и выполнять расчёты производительности и экономической эффективности с целью выбора лучшего решения.

Стремление создать наиболее работоспособные конструкции линий объясняется, прежде всего, необходимостью обеспечить требуемую действительную производительность, величина которой определяется длительностью цикла, работоспособностью линии и уровнем

обслуживания. В тех случаях, когда цикл задан и не может быть изменен и известен уровень обслуживания, требуемая производительность должна обеспечиваться только надежностью линии. Это ведет к необходимости определения требований к работоспособности отдельных агрегатов, которые должны быть обеспечены при эксплуатации. В литературе отсутствуют сведения о методике определения норм надежности для отдельных агрегатов автоматических формовочных линий.

Исходя из вышеизложенного, были сформулированы следующие основные задачи исследования:

1. Разработка методики получения объективных показателей надежности с требуемой точностью и достоверностью.
2. Исследование работоспособности действующих АФЛ по разработанной методике.
3. Разработка классификации и методов оценки работоспособности автоматических формовочных линий различных структурных схем, проведение сравнительного технико-экономического анализа с целью выбора наиболее рациональных вариантов.
4. Разработка методики определения требований к работоспособности агрегатов, выполнение которых должно обеспечить заданную действительную производительность.
5. Определение основных мероприятий и направлений повышения работоспособности и производительности автоматических формовочных линий при проектировании и модернизации.

ГЛАВА П. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РАБОТОЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ С ТРЕБУЕМОЙ ДОСТОВЕРНОСТЬЮ

Решение большого комплекса задач, связанных с исследованием, анализом и разработкой мероприятий по увеличению надежности, невозможно без количественной оценки работоспособности линий. Поскольку источники и методы получения информации различны то должна указываться достоверность и точность показателей работоспособности. В том случае, если требуемая достоверность и точность заранее заданы, необходимо решить вопрос об объеме информации и качестве ведения хронометражных наблюдений. Чем выше точность, тем точнее расчеты производственной программы выпуска литья и технико-экономической эффективности. Ошибка в расчетах

надежности на один процент приводит к ошибке в выпуске продукции в каждой АФЛ на десятки и сотни тысяч рублей в год.

Теоретическую основу разработки данной методики составляют главные положения теории доверительных интервалов и теоремы о количественных характеристиках функций случайных величин. Необходимые экспериментальные исследования были проведены на действующих автоматических формовочных линиях, отличающихся друг от друга производительностью, размером опок, конструктивным исполнением агрегатов, использованной аппаратурой управления и т. д., что позволило учесть влияние перечисленных факторов на надежность и производительность.

В результате проведения длительных наблюдений за работой АФЛ установлены объективные закономерности распределения показателей работоспособности линий и основных технологических агрегатов. Установлено, что статистические законы распределения коэффициента готовности — основного показателя работоспособности линии — во всех случаях удовлетворительно аппроксимируются нормальным, а время безотказной работы между двумя последовательными отказами и время восстановления — экспоненциальными законами. Использование указанных закономерностей позволило получить формулу для определения необходимой длительности наблюдения:

$$n = \frac{2K_r^2(1-K_r)^2 \cdot (1-\Delta)^2 \cdot U_p^2}{\varepsilon^2 \cdot (1-\Delta \cdot K_r)^4}, \quad (1)$$

где n — необходимая длительность наблюдения, выраженная количеством отказов оборудования,

K_r — теоретическое или предполагаемое значение коэффициента готовности,

Δ — погрешность хронометражных наблюдений,

ε — требуемая точность коэффициента готовности,

U_p — квантиль нормального распределения, соответствующий требуемой доверительной вероятности β .

Анализ полученной зависимости показал, что на длительность наблюдений в большой степени влияет точность коэффициента K_r . Необоснованное увеличение точности коэффициента готовности ведет к резкому удлинению периода наблюдения и увеличению затрат времени на обработку экспериментального материала. Установлено, что продолжительность наблюдения во многом определяется погрешностью замеров времени простоев. Особенно сильно это влияние проявляется при увеличении достоверности и точности коэффициента го-

товности. Точность хронометража повышается с использованием самопишущих приборов-индикаторов отметчиков времени НЗО. Приборы позволяют уточнить длительность каждого зафиксированного простоя. Автоматизация учёта времени простоев позволяет снизить погрешность хронометража до 0,5% и тем самым свести к минимуму необходимую длительность наблюдения.

Принимая решение по результатам обработки выборки, можно совершить ошибки двух родов. Ошибка первого рода, сводящаяся к браковке правильной гипотезы, определяется влиянием случайных факторов, оказывающих на результат измерения лишь незначительное влияние. Ошибка второго рода, приводящая к принятию ложной гипотезы, обязана своим происхождением некоторому фактору, который является причиной смещения наблюдаемого параметра в каком-нибудь одном направлении. Одним из таких факторов является недостаточный объём информации о работе изделий.

Для того, чтобы исключить возможность внесения систематической ошибки в величину коэффициента готовности, необходимо установить минимальную длительность наблюдения, после которой имеет место стабильное колебание рассматриваемого параметра около его среднего значения. Решение поставленной задачи основывается на известном в математической статистике критерии принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности. Вычислениями установлено, что для каждого значения коэффициента K_T характерен свой период наблюдения, исключающий возможность появления ошибки второго рода. Анализ взаимосвязи указанных величин позволил установить наличие между ними корреляционной зависимости, имеющей вид:

$$n = 4440(1 - K_T)^2 \quad / 2 /$$

В работе показано, что только совместный учёт формул /1 и 2/ позволяет правильно выбрать минимальную длительность наблюдения, при которой показатели работоспособности будут получены с требуемой достоверностью и точностью.

В данной главе разработана методика оценки точности и достоверности показателей работоспособности по результатам проведения хронометражных наблюдений.

Для планирования длительности наблюдения за работой линии необходимо знать точность коэффициента K_T . Задача определения точности показателя работоспособности линии в целом по из-

известный точности коэффициентов готовности отдельных агрегатов на стадии проектирования в определенной степени подобна задаче определения допуска на размер замыкающего звена, если допуски на размеры составляющих звеньев известны. Решение этой задачи особенно важно при рассмотрении линий, составленных из унифицированных агрегатов, показатели работоспособности которых достоверно и точно определены. Теоретические исследования позволили получить формулу для определения ε :

$$\varepsilon = \frac{K_r(1 - K_r)}{\sqrt{\sum_{j=1}^q \frac{K_{rj}^2 (1 - K_{rj})^2}{\varepsilon_j^2}}}, \quad / 3 /$$

где K_{rj}, ε_j — коэффициент готовности и его точность для j -го агрегата линии,

K_r, ε — коэффициент готовности и его точность для линии в целом,

q — количеством агрегатов в линии.

Формула / 3 / позволяет в проектных расчётах оценить точность коэффициента K_r линии в целом и, следовательно, указать ожидаемые пределы изменения производительности автоматических формовочных линий при их работе.

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ

Настоящая глава посвящена экспериментальному исследованию работы линий в реальных условиях эксплуатации с целью определения основных показателей надежности, изучения влияния размера опок и способа уплотнения смеси на работоспособность, выявления тенденций изменения показателей надежности и разработки рекомендаций по повышению работоспособности формовочных линий.

Основной для проведения работы явилось статистическое исследование функционирования девяти автоматических линий. Оценка достоверности и точности показателей работоспособности проводилась по разработанной во II главе методике.

В результате проведения исследований определены показатели надежности основных технологических и транспортных агрегатов формовочных линий. Установлено, что у агрегатов одного и того же назначения показатели надежности хотя и меняются в довольно широких пределах, однако замечна определенная тенденция в уровнях их работоспособности. Наименьшей работоспособностью обладают сложные формовочные автоматы и выбивные установки, их

K_T в среднем составляют 0,85-0,95. Несколько лучше, но также не-удовлетворительно работают межагрегатные транспортеры и сборщики форм. Полученные результаты являются основанием для неотложного проведения работ по повышению качества проектирования, изготовления и эксплуатации указанных агрегатов и особенно выбивной установки, условия работы которой чрезвычайно тяжелые. Надежность остальных агрегатов: распаровщика, кантователя, механизма выставки форм, грузоукладки находится в пределах 0,990-0,999, что в настоящее время вполне удовлетворяет конструкторов и эксплуатационников АФЛ. Исследования выявили наиболее надежные конструктивные решения агрегатов и они рекомендованы для использования при новом проектировании и модернизации автоматических линий.

Исследования работоспособности АФЛ проводились в течение пятилетнего периода времени /1965-1970 гг./ Это дало возможность выявить тенденции изменения показателей работоспособности. Установлено, что работоспособность линий непрерывно повышается. Этому способствует постоянное накопление опыта проектирования, изготовления и эксплуатации, а также развитие теоретических работ в области надежности автоматических формовочных линий.

Установлено, что повышение работоспособности линий идет, в основном, по пути увеличения безотказности работы оборудования. Важным вопросам улучшения ремонтпригодности конструкторы уделяет явно недостаточно внимания. Среднее время восстановления на протяжении последних лет остается на одном и том же уровне. Меньшие потери времени на устранение отказов имеют линии конструкции НИИ тракторосельхозмаш, где вопросы удобства ремонта и обслуживания постоянно находятся в поле зрения конструкторов. В повышении ремонтпригодности линий заложены большие резервы повышения работоспособности и производительности. В работе приведены рекомендации по улучшению ремонтпригодности оборудования.

Размер опок и способ уплотнения смеси являются одними из основных параметров, определяющими конструкцию формовочной линии. Исследованиями установлено, что с увеличением размера опок коэффициент готовности возрастает, линии имеющие встряхивающие формовочные механизмы имеют меньшую надежность, чем линии с прессовым методом уплотнения. Полученные результаты позволяют рекомендовать для проектирования и эксплуатации линии с большими размерами опок и статическим способом уплотнения.

Важнейшей задачей при проектировании является назначение уровня работоспособности линий. Завышение расчётного коэффициента готовности по сравнению с действительно возможным приведет к невыполнению производственного плана, занижение — к фиктивной видимости нормальной работы малонадежного оборудования. Планирование уровня работоспособности с учётом передового опыта конструирования и эксплуатации линий позволяет нацелить создателей нового оборудования на разработку более надежной техники.

В основу расчёта уровня работоспособности АФЛ должны быть положены современные достоверные фактические данные о надежности лучших узлов и агрегатов, полученные в результате исследования работы действующих линий. Лучшие агрегаты имеют следующие значения коэффициентов готовности: прессовые автоматы — 0,980, встряхивающие с подпрессовкой — 0,883, распаровщик, кантователь, механизм выставки формы и сборщик — 0,996–0,999, межагрегатный транспорт — 0,980 и выбивная установка — 0,972. Точность полученных показателей лежит в пределах 0,001–0,012. Коэффициент готовности линий, скомплектованных из лучших агрегатов, равен $0,900 \pm 0,008$. Эта величина является тем уровнем работоспособности, к которому должны стремиться конструкторы и эксплуатационники и который уже практически может быть достигнут в настоящее время. С учётом непрерывного развития техники и установленных тенденций роста работоспособности линий проектный уровень коэффициента готовности будет постоянно возрастать.

Если сравнить работоспособность действующих линий с линиями, составленными из лучших агрегатов, то оказывается, что действующие линии имеют коэффициент готовности примерно на 15–20% меньше. Это указывает на наличие большого резерва повышения производительности.

После того, как автоматическая линия изготовлена, собрана и запущена в эксплуатацию, необходимо определить, соответствует ли её фактическая работоспособность паспортной. Коэффициенты готовности, полученные при проведении испытаний, могут отличаться от паспортного значения. Важно установить, существенно ли это различие или нет, то есть обусловлено оно недостаточной проработкой отдельных узлов и агрегатов или связано только со случайными отклонениями исследуемой величины. Использование методов математической статистики позволило найти критерий, выполнение которого указывает на равенство фактического и паспортного коэффициентов готовности. Полученный критерий может быть использован при проведении приемосдаточных испытаний автоматических линий.

ГЛАВА IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ

Данная глава посвящена рассмотрению взаимосвязи структурного построения и работоспособности, разработке методики оценки надежности различных структурных схем и определению основных направлений проектирования автоматических формовочных линий с жесткими связями.

Из большого количества вариантов структурных схем формовочных линий можно выделить следующие основные отличительные структурные признаки, влияющие на работоспособность и производительность: характер взаимосвязи между агрегатами и формовочными блоками, тип и количество формовочных автоматов в блоке и количество формовочных блоков, работающих одновременно на литейный конвейер. Указанные отличительные признаки положены в основу разработанной в данной главе классификации формовочных линий. Для всех 36 вариантов линий, вошедших в классификацию, были получены формулы для оценки их работоспособности с учётом влияния изменения коэффициентов готовности агрегатов при сокращении или увеличении цикла их работы, которое описывается следующей формулой:

$$K'_{gj} = \frac{1}{1 + \frac{1 - K_{gj}}{K_{gj}} \cdot \frac{T_{cj}}{T_c}}}, \quad / 4 /$$

где K'_{gj} — коэффициент готовности j -го агрегата при цикле T'_{cj} ,

K_{gj} — коэффициент готовности того же агрегата при цикле T_c .

Кроме этого в формулах учтен двойственный с точки зрения формирования потерь производительности характер отказов механизмов, находящихся на стыке формовочных блоков и последовательных агрегатов линий.

Полученные зависимости позволяют оценивать работоспособность линий различных структурных схем на стадии проектирования. Для проверки некоторых формул были проведены исследования, подтвердившие справедливость разработанной методики.

Анализ работоспособности показал, что величина коэффициента готовности линий различных вариантов, составленных из одних и тех же агрегатов, может изменяться на 20 и более процентов. Это указывает на наличие большого резерва повышения производительности линий за счёт выбора наиболее работоспособных структурных схем.

На основе проведения сравнительного технико-экономического анализа установлено:

1. Линии с двумя формовочными автоматами имеют большую эффективность, чем с одним для поочередного изготовления верхних и нижних полуформ. Учитывая, что при раздельном изготовлении полуформ улучшаются условия формирования геометрической точности отливок, следует предпочтительно проектировать линии на базе двух формовочных автоматов: один для верхних, другой для нижних полуформ.

2. Наличие обводного канала, а также использование дублирования последовательных (общих) агрегатов, например выливной установки, повышает работоспособность линий, эффект растет с увеличением количества формовочных блоков.

3. Эффективность многоблочных линий на базе однопозиционных формовочных автоматов находится на уровне линий на базе высокопроизводительных сдвоенных челночных и четырехпозиционных автоматов. Однако при мелкосерийном производстве отливок широкой номенклатуры потери производительности из-за смены моделей минимальны в линиях на базе однопозиционных автоматов. В связи с этим при мелкосерийном производстве отливок целесообразно применение многоблочных линий с однопозиционными автоматами.

4. Наиболее предпочтительными являются линии на базе многопозиционных /в частности, четырехпозиционных/ автоматов, затем на базе сдвоенных челночных и однопозиционных. Не случайно поэтому в последние годы все чаще как в отечественной, так и зарубежной практике появляются линии с использованием многопозиционных автоматов.

В работе проанализировано влияние изменения цикла работы на эффективность линий на базе одно- и четырехпозиционных автоматов. Технико-экономический расчет показал, что интенсификация работы однопозиционных автоматов дает дополнительный экономический эффект на 40-50% больше, чем пропорциональная интенсификация работы четырехпозиционного автомата. Полученный вывод подтверждает правильность наблюдаемой современной тенденции сокращения цикла работы однопозиционных формовочных автоматов.

ГЛАВА V. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РАБОТОСПОСОБНОСТИ АГРЕГАТОВ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ

Обеспечение требуемой производительности самым тесным образом связано с уровнем надежности линий, при этом работоспособ-

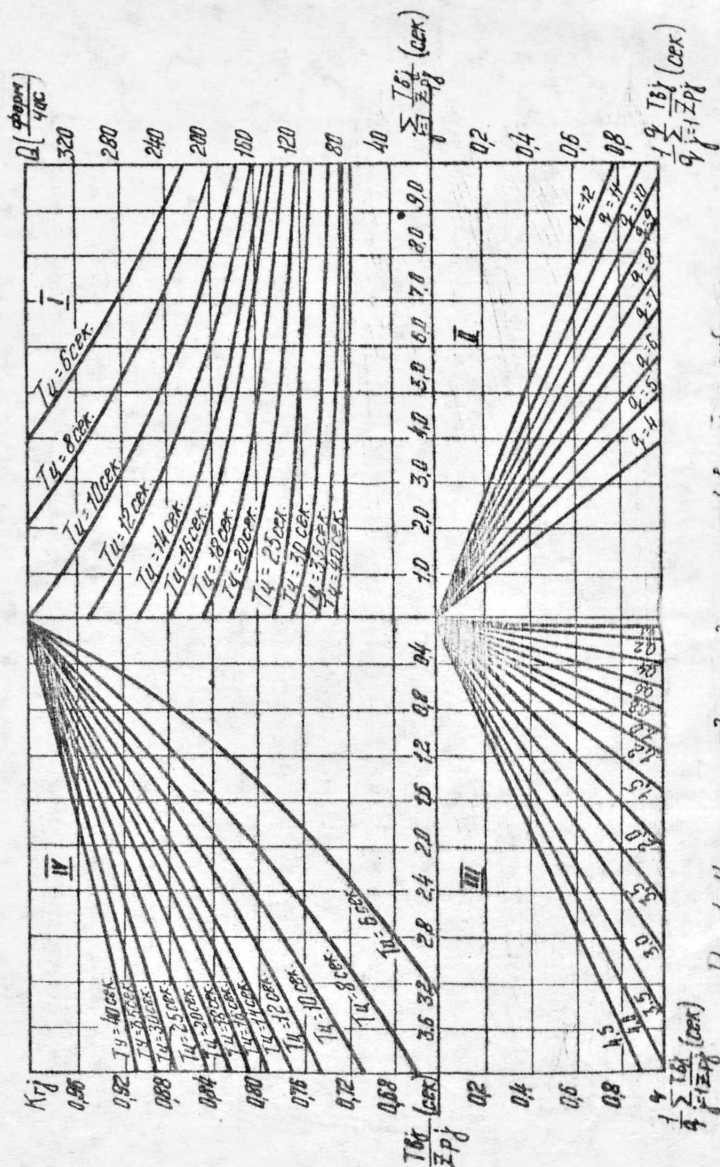


Рис. 1 Наименования для определения требований к работоспособности изредка повторяющихся формальных линий.

ность их агрегатов должна отвечать определенным требованиям. Только в случае выполнения этих требований может быть гарантирована необходимая производительность и ожидаемый экономический эффект.

Из-за различной сложности основные технологические и транспортные агрегаты формовочных линий объективно не могут иметь и, как показали исследования, действительно не имеют одинаковых коэффициентов готовности. Поэтому нормы работоспособности агрегатов необходимо дифференцировать.

Для определения требований к работоспособности агрегатов, входящих в линию с жесткими связями, разработана номограмма, представленная на рис. 1. В основу номограммы положены следующие зависимости:

$$Q = \frac{3600}{T_{\Sigma} + \sum_{j=1}^n \frac{T_{ej}}{Z_{pj}}}, \quad / 5 /$$

$$K_{rj} = \frac{1}{1 + \frac{T_{ej}}{T_{\Sigma} \cdot Z_{pj}}}, \quad / 6 /$$

где T_{ej} и Z_{pj} — среднее время восстановления (в сек.) и наработка на отказ (в циклах) j -го агрегата.

Дифференциация требований выполняется с помощью коэффициентов, связывающих работоспособность каждого отдельного агрегата со средней работоспособностью условного агрегата. Коэффициенты получены в результате статистических исследований надежности агрегатов линий.

Разработанная номограмма позволяет решать различные задачи, связанные с определением требований к работоспособности отдельных агрегатов формовочных линий, установлением продолжительности цикла работы и расчётом производительности.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Автоматизация производства, сопровождающаяся усложнением конструкции, увеличением количества механизмов и элементов, объединенных в единую систему, выдвинула на первое место проблему надежности. Наличие больших потерь производительности из-за низкой надежности и вследствие неудачного конструктивного и структурного решения линий резко снижают эффективность их внедрения. Наблюдается отставание в разработке методов расчёта надежности линий при проектировании.

2. Важнейшим условием создания высоконадежных линий является изучение, обобщение и анализ опыта эксплуатации действующих автоматических формовочных линий. Для получения объективной информации разработана методика получения показателей работоспособности с требуемой точностью и достоверностью, а также методика количественной оценки достоверности и точности показателей работоспособности по результатам наблюдения за работой линий. Эти методики используются НИИ тракторосельхозмашином при проведении авторского надзора за работой формовочных линий с целью повышения их работоспособности. Результаты исследований и разработанные на их основе конструктивные изменения позволяют повысить производительность линий на 5-10 %, что в целом по отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения дает экономический эффект 100-200 тыс. руб. в год.

3. Работоспособность линии зависит от темпа её работы, поэтому для характеристики надежности линий и агрегатов, которые могут работать в конкретных условиях с различным темпом, необходимо указывать не только коэффициент готовности, но также и цикл, при котором он получен.

4. Исследования в течение пяти лет работы девяти отечественных линий дали возможность накопить статистический материал, который позволил:

- выявить наиболее работоспособные конструктивные решения агрегатов, использование которых при проектировании новых и модернизации действующих линий повысит надежность на 10-15 %;
- рекомендовать проектирование формовочных линий с большими опками и безударными методами уплотнения, так как это ведет к повышению уровня их надежности и к увеличению выпуска отливок;
- установить динамику изменения показателей надежности формовочных линий, позволяющую прогнозировать уровень из значений на ближайшие годы;
- установить, что конструкторы должны, опираясь на передовой опыт проектирования и эксплуатации, обеспечивать коэффициенты готовности формовочных линий на уровне $0,900 \pm 0,008$. С учетом установленных тенденций изменения надежности указанное значение K_r с течением времени должно возрастать.

5. На основе теоретических и статистических исследований функционирования линий разработана методика и номограмма для определения требований к работоспособности основных агрегатов формовочных линий, обеспечение которых при проектировании и

эксплуатации позволит гарантировать требуемую надежность и производительность.

6. Разработана методика проверки соответствия фактической работоспособности линии паспортной. Она рекомендована к использованию при проведении приемо-сдаточных испытаний.

7. Предложена классификация структурных схем автоматических линий с жесткими связями и установлен механизм формирования их работоспособности. Получены зависимости для оценки надежности линий на стадии проектирования.

8. Проведенный технико-экономический анализ структурных схем позволил установить следующие направления повышения эффективности формовочных линий:

- проектирование линий на базе двух формовочных автоматов: один для верхних, другой для нижних полуформ;
- использование многопозиционных автоматов /четырепозиционных, челночных/;
- применение многоблочных линий с обводным каналом при мелкосерийном производстве большой номенклатуры сложных отливок;
- дальнейшая интенсификация работы однопозиционных автоматов.

Выявленные направления повышения эффективности хорошо согласуются с наблюдаемыми в настоящее время тенденциями развития структурных схем автоматических формовочных линий.

9. Рекомендации, касающиеся выбора наиболее работоспособных и эффективных вариантов, были использованы ВНИИЛИГМАШем при разработке гамм автоматических формовочных линий, при проектировании линии мод. 2Л227А13А для Днепродзержинского вагоностроительного завода им. газеты "Правда", экономический эффект от внедрения которой составляет 130 тыс. руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих изданиях:

1. Беликов О.А., Куприянов А.П., Панкратов А.И. Анализ и методы повышения надежности автоматических формовочных линий. "Литейное машиностроение". 1970 г., № 1.

2. Беликов О.А., Панкратов А.И. Определение действительной производительности автоматических формовочных линий. "Литейное машиностроение", 1970, № 2-3.

3. Беликов О.А., Панкратов А.И. Надежность и производительность автоматических формовочных линий. "Механизация и автоматизация производства", 1970, № 12.