

М 405829

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

На правах рукописи

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Березин Николай Андрианович

УДК 621.744.43

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ
И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИТЕЙНЫХ ЛИНИЙ

05.16.04 Литейное производство

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1983

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте
технологии тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент О.А. БЕЛИКОВ

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Г.М. ОРЛОВ
кандидат технических наук,
доцент В.А. МАМИН

Ведущее предприятие - НИО "НИИТАвтомпром"

Защита диссертации состоится " " _____ 1983 г.
на заседании специализированного совета Д 053.15.05 при Москов-
ском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени
Н.Э. Баумана: г. Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени
Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " " _____ 1983 г.

Ученый секрет
совета, док
профессор

НИКОВ

M 405829

Д-99797 от

эк.862

1405829

Актуальность работы. Для ускорения научно-технического прогресса ХХУІ съездом КПСС поставлена задача существенно сократить сроки создания и освоения новой техники, повысить ее качество и эффективность. Современное машиностроение характеризуется широким внедрением прогрессивной технологии и автоматических литейных линий (АЛЛ) для производства отливок в разовую песчано-глинистую форму. Особенностью современных АЛЛ является большое их разнообразие по структурно-компоновочному решению, конструктивному исполнению, значительная их сложность и недостаточная надежность. Это объясняется тем, что проектирование АЛЛ осуществляется по интуиции, без достаточного научного обоснования и полного учета всех факторов, влияющих на качество разработок. Опыт эксплуатации различных линий показал, что большинство из них являются работоспособными, но неоптимальными. Оптимизация структурно-компоновочных схем (СКС) АЛЛ в настоящее время затруднена из-за отсутствия объективных критериев оценки различных вариантов. Сложность проблемы выбора и разработки рациональных конструкций АЛЛ усугубляется тем, что принятие решений приходится осуществлять с учетом факторов, не поддающихся строгой количественной оценке. Необходима методика, позволяющая ускорить процесс поиска, выбора и синтеза рациональных вариантов АЛЛ, качественно улучшить их разработку.

Целью работы являются повышение качества и сокращение сроков разработки АЛЛ путем применения формализованных методов проектирования и создания на их основе высокопроизводительных и надежных линий.

Методы исследования. Для решения задач проектирования рациональных структурных схем АЛЛ применен системно-структурный метод, позволяющий представлять линию как единую сложную систему, содержащую технологические участки, агрегаты, механизмы и транспортные связи между ними. Поиск и выбор рациональных вариантов осуществлены на основе метода морфологического анализа. Оптимизация и синтез новых структурных схем АЛЛ выполнены с использованием формализованного описания структуры и функционирования подсистем в виде операторных формул, которые на основе математической логики преобразуются с целью минимизации элементного состава структуры.

Научная новизна состоит в разработке методики проектирова-



ния рациональных структурных схем АЛЛ с использованием формализованных методов на разных этапах проектирования. Предложена классификация механизмов АЛЛ по функциональным признакам, на основе которой определены количественные соотношения и критерии оценки различных вариантов структурных схем и установлена зависимость числа механизмов от количества технологических операций и переадресаций, осуществляемых на линии. Установлено наличие избыточности элементной структуры в реальных АЛЛ, определены ее виды и факторы ее порождающие, а также пути ее снижения. Дано математическое обоснование путей повышения производительности и надежности линий на стадии проектирования. Разработана классификация факторов, которые рекомендуется учитывать при проектировании АЛЛ. Разработан алгоритм поиска, выбора структурной оптимизации и синтеза новых СКС АЛЛ.

Практическая ценность. Основные положения работы и методики проектирования использованы в НИИ тракторосельхозмаши при создании автоматических литейных линий. Разработаны и реализованы четыре новые структурные схемы АЛЛ и ряд механизмов, которые защищены авторскими свидетельствами. Линии внедрены на заводах "Ростсельмаш", Павлодарском и Владимирском тракторных и в Народной Республике Болгарии. Экономическая эффективность работы, в том числе от внедрения изобретений составляет 250 тыс. рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация литейных процессов" МВТУ им. Н.Э. Баумана (1977, 1978, 1979, 1980, 1981 гг.), в Московском доме научно-технической пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского (1979 г.) и на секции НТС литейного производства НИИ тракторосельхозмаши (1983 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных статей, получено 14 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка, 8 таблиц, список литературы из 135 наименований.

В первой главе проведен анализ проблем и особенностей проектирования автоматических литейных линий. АЛЛ как объект проектирования постоянно усложняется, так как все больше технологиче-

ских операций автоматизируется. В то же время требования к совершенству линий повышаются, а сроки разработки сокращаются. Конструктору становится все труднее просматривать несколько возможных вариантов и объективно оценить их для выбора из них лучшего. Словесное описание структуры и функционирования АЛЛ затрудняет их анализ, а прочерчивание большого числа вариантов не всегда удается из-за ограничений по времени. Необходимы формализованные методы проектирования АЛЛ, которые бы позволили:

- системно выявлять и анализировать множество возможных вариантов с целью выбора наиболее рационального;
- уменьшить субъективность при принятии решений;
- сократить сроки проектирования на основе выявления существующих закономерностей, упорядочения и концентрации логического мышления, наглядности отображения и др.

Согласно теории производительности время работы оборудования, в течение которого не совершаются технологические операции, является потерянным временем. Установлено, что на линии до 30%, а на отдельных ее участках и агрегатах до 80% времени цикла затрачивается не на технологические, а на вспомогательные операции, такие как переадресации опок (оснастки, других объектов) с позиции на позицию, возвратные движения механизмов и др. Эти потери можно сокращать за счет оптимизации структурно-компоновочных схем АЛЛ. В главе дан анализ современных методов оптимизации при проектировании технологических систем.

Анализ технической литературы показал, что вопросы оптимизации структурных схем АЛЛ практически не изучены. Отсутствуют научно обоснованные рекомендации по поиску, выбору и разработке рациональных вариантов АЛЛ.

В соответствии с вышеизложенным, в работе ставятся и решаются следующие основные задачи:

1. Исследовать существующие структурно-компоновочные схемы АЛЛ и оценить их количественно. Выявить зависимости и соотношения между элементами СКС АЛЛ. Определить критерии оптимальности.

2. Установить факторы, порождающие избыточность структуры АЛЛ и пути ее снижения. Определить условия применения отдельных механизмов и формирования структуры АЛЛ в целом.

3. Обосновать основные пути повышения производительности и

надежности АЛЛ на стадии их проектирования.

4. На основе решения задач I-3:

- разработать методику проектирования рациональных структурно-компоновочных схем АЛЛ с использованием формализованных методов;

- синтезировать и реализовать новые варианты СКС АЛЛ;

- внедрить АЛЛ, созданные на основе разработанных СКС в производство.

Во второй главе проведены исследования структурных схем и элементов структуры АЛЛ. Структурная схема АЛЛ представляет собой графическое изображение совокупности технологических механизмов и транспортных связей между ними с указанием направления переадресации объектов обработки или воздействия. Для исследования, объективной оценки и оптимизации СКС АЛЛ разработана классификация механизмов по функциональным признакам, согласно которой они подразделяются на:

- механизмы технологические (Т);
- механизмы переадресации объектов (R);
- механизмы фиксации и торможения объектов (F);
- механизмы системы управления (U).

Дана классификация СКС АЛЛ по виду транспортных связей, числу и расположению формовочных агрегатов, количеству и виду транспортных потоков.

На основе данной классификации механизмов исследовано 178 АЛЛ различных структурно-компоновочных схем. Установлено, что в разных линиях при равном числе выполняемых технологических операций число переадресаций отличается в 1,2-1,4 раза, а число механизмов - в 1,5-1,9 раза. Установлена прямая зависимость числа механизмов N_m от числа осуществляемых на линии технологических операций $N_{т.о}$ и переадресаций N_R . Установлено, что рост числа механизмов опережает рост $N_{т.о}$ и N_R . На одну технологическую

операцию в разных АЛЛ приходится от 1,6 до 2,2 переадресаций и от 3,1 до 7, 5 механизмов, что характеризует различную сложность линий. Предлагается различать структурную K_c , конструктивную K_k и кинематическую K_m сложности и оценивать их соотношениями

$$K_c = \frac{N_m}{N_{т.о}} \quad (1) \quad K_k = \frac{N_m}{N_R} \quad (2) \quad K_m = \frac{N_R}{N_{т.о}} \quad (3)$$

Данные характеристики связаны с ремонтной сложностью, надежностью, стоимостью и другими показателями АЛЛ.

Установлено, что большинство существующих АЛЛ избыточны по структуре. Под избыточностью подразумевается наличие в АЛЛ дополнительных переадресаций и механизмов, без которых возможно функционирование линии. Выявлены причины появления структурной избыточности: технологические, конструктивные и кинематические. Технологическая избыточность характеризуется наличием в структуре АЛЛ дополнительных операций и соответствующих механизмов, появившихся в результате несовершенства технологического процесса, низких свойств и качества формообразующих материалов. К таким механизмам относятся, например, "смотровые" кантователи для контроля качества полуформ, устройства для выполнения вентиляционных каналов и др. Технологическую избыточность следует устранять на основе качественного улучшения существующих или создания новых малооперационных формообразующих техпроцессов.

Конструктивная и кинематическая избыточность характеризуются несовершенством конструкции оборудования, его структурных схем и компоновок, сложностью механизмов и системы управления, наличием лишних переадресаций, движений, сложностью манипуляций и др. Они вызваны несовершенством методов проектирования, субъективностью в оценке решений, ограниченностью в количестве проработанных вариантов, отсутствием системного подхода, достаточного опыта и полного учета всех факторов при конструировании АЛЛ. Снижение конструктивной и кинематической избыточности необходимо осуществлять по пути оптимизации СКС линий, добиваясь минимума числа переадресаций и механизмов, упрощения конструкции агрегатов и системы их управления.

Рекомендуется избыточность структуры АЛЛ определять по формуле

$$J_c = \left(1 - \frac{N'_m}{N'_{т.о}} / \frac{N_m}{N_{т.о}} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

где N'_m и $N'_{т.о}$ - соответственно число механизмов и технологических операций, минимально необходимых для выполнения функций АЛЛ;

N_m , $N_{т.о}$ - то же в реальных линиях.

С целью снижения J_c исследованы типовые схемы переадресаций АЛЛ,

на основе чего определены формальные условия применения механизмов. Для применения сопутствующих механизмов основными условиями являются:

- изменение направления движения объектов обработки;
- смена непрерывного движения на дискретное и, наоборот;
- фиксация последующего объекта с заданным зазором между смежными объектами;
- исключение влияния гравитационных и инерционных сил и др.

В третьей главе представлено математическое обоснование основных путей повышения производительности АЛД на стадии их разработки. Производительность АЛД с учетом числа механизмов и их надежности определяется

$$Q = \frac{1}{T_4 \left(1 + \sum_{i=1}^{N_m} \frac{T_{bi}}{T_i}\right)} \quad (5)$$

где T_4 - длительность цикла линии (регламентирующего участка);

T_{bi}, T_i - соответственно среднее время восстановления и наработка на отказ i -го механизма.

Анализ формул для АЛД с жесткими и гибкими связями показал, что основными составляющими, которые определяют их производительность являются число механизмов, их быстродействие, надежность, а также вид транспортных связей между технологическими механизмами. Поэтому главными путями повышения производительности АЛД являются:

1. Уменьшение числа механизмов и переадресаций

$$N_m^* = \min(N_m); \quad N_R^* = \min(N_R)$$

2. Совмещение по времени технологических и транспортных операций и возвратных движений механизмов

$$T_4 = \sum_{i=1}^{N_m} t_{mi} - \sum_{j=1}^m t_{mj} \quad m \leq N_m$$

где m - число механизмов, функционирование которых совмещено по времени с другими механизмами.

3. Интенсификация движений до предельно допустимых величин, гарантирующих качество получаемого литья. В качестве ограничений принимается максимально допустимые значения скорости v^2 дви-

жений, ускорения a и динамические нагрузки P .

$$v, a, f \leq [v_a, a_a, p_a]$$

4. Повышение надежности механизмов, обеспечивая сокращение цикловых и внецикловых простоев

$$\sum_{i=1}^{N_m} \frac{\tau_{bi}}{T_i} - \sum_{j=1}^{m-1} \frac{\tau_{bmaxj}}{T_j} = \min \left[\sum_{i=1}^{N_m} \frac{\tau_{bi}}{T_i} - \sum_{j=1}^{m-1} \frac{\tau_{bmaxj}}{T_j} \right]$$

5. Унификация механизмов и упрощение их конструкции

$$\gamma_{ун.} = \frac{P_{ун.}}{N_m} \cdot 100\% = \max[\gamma_{ун.}]$$

где $\gamma_{ун.}$ - коэффициент унификации;

$P_{ун.}$ - число унифицированных механизмов (узлов).

Для сокращения цикловых потерь необходимо при разработке АЛД суммарное время на выполнение вспомогательных операций (движений) максимально совместить с суммарным временем технологических операций.

На основе анализа различных конструктивных решений определены условия совмещения технологических и вспомогательных операций на АЛД, к основным из которых относятся:

- введение механизмов фиксации перемещаемых объектов с целью совмещения их переадресаций, не ожидая завершения возвратных движений;

- переадресации на разных пространственных уровнях;

- разложение движений на составляющие с последующим их совмещением;

- использование сложного движения вместо нескольких простых, последовательно осуществляемых движений и др.

Для повышения производительности за счет интенсификации движений в структуру АЛД необходимо вводить надежные механизмы торможения. Предложена классификация тормозных устройств по принципу действия, месту расположения и воздействия на процесс движения, позволяющая для конкретных условий выбирать наиболее рациональные. Показана целесообразность применения комбинированных тормозных устройств. Разработан новый, защищенный авторским свидетельством (№ 663892) пневмогидропривод с комбинированной системой торможения, реализующий оптимальный закон движения. Пневмогидропривод внедрен в составе АЛД на Липецком тракторном, Фроловском и

других отечественных заводах и в НРБ.

Реальная производительность АЛЛ зависит не только от цикловых, но и от внецикловых потерь, т.е. от условий ее работы в технологическом комплексе цеха. Установлено что линии в литейном комплексе используются на 50-75%. Анализ показал, что внецикловые потери производительности АЛЛ зависят от следующих основных факторов: от уровня обслуживания, стабильности технологического процесса, надежности оборудования смежных подсистем и от уровня организации производства. Для определения фактической производительности АЛЛ. Введен коэффициент $K_{и.к}$, учитывающий степень ее использования в литейном комплексе:

$$Q_{ф} = Q_{ц} \cdot K_{и.к} \quad (6)$$

$$K_{и.к} = K_{т.и} \cdot k_{пр} \cdot k_{тех} \cdot k_{см} \cdot k_{орг} \quad (7)$$

- гд. $K_{т.и}$ - коэффициент технического использования собственно АЛЛ (0,88-0,95);
 $k_{пр}$ - коэффициент профилактического обслуживания (0,92-0,96);
 $k_{тех}$ - коэффициент стабильности технологического процесса (0,82-0,94);
 $k_{см}$ - коэффициент технического использования оборудования смежных отделений (0,74-0,88);
 $k_{орг}$ - коэффициент уровня организации производства (0,85-0,92).

Значение $K_{и.к}$ обычно не превышает 0,6-0,7. Поэтому при проектировании АЛЛ и всего литейного комплекса повышение каждого из указанных коэффициентов является главной задачей.

В четвертой главе излагаются основные положения рационального проектирования АЛЛ. Разрабатываются следующие методические вопросы:

- определение области поиска рациональных вариантов структурно-компоновочных схем АЛЛ;
- определение критериев оптимальности СКС АЛЛ;
- выбор и структурная оптимизация линии-прототипа;
- синтез новых СКС АЛЛ.

Разработана классификация факторов, которые необходимо учитывать при создании АЛЛ. В ней выделяются экономические, технологические, конструктивные, организационно-технические и эксплуата-

тационные группы факторов. Эти факторы выступают как критерии и ограничения при разработке АЛЛ и их учет позволит конструктору системно контролировать на различных этапах и тем самым повышать качество проектирования линий.

Для ускорения процесса проектирования и повышения качества создаваемых АЛЛ разработана методика и алгоритм (рис. I) поиска и выбора рациональных вариантов АЛЛ, а также методика структурной оптимизации выбранной линии-прототипа и синтеза новых СКС АЛЛ.

Область поиска вариантов АЛЛ рекомендуется находить на основе метода морфологического анализа, для чего предварительно выявляются характеристические признаки P_i линии и ее элементов. По каждому признаку соответствующего уровня выявляется максимально возможное число альтернативных решений j . Общее количество вариантов N определяется произведением числа альтернатив по всем отличительным признакам.

На основе анализа каждого признака выбирается одно из его решений. Выбор конкретных решений определяется с учетом влияния множества факторов, принятых критериев, разного уровня целей и ограничений. Выбранные по всем признакам решения формируются в виде математической модели СКС линии-прототипа, в которой целевая функция принимает минимальное (максимальное) значение. В качестве основных критериев при оптимизации СКС АЛЛ являются число механизмов N_m и степень их унификации, число переадресаций N_k , движений N_d и степень их совмещения и др.

Оптимизация СКС линии-прототипа и синтез новой СКС АЛЛ осуществляется поэтапно. Сущность основных этапов состоит в следующем:

1. Линия-прототип разделяется на подсистемы (участки, агрегаты, механизмы), которые подвергаются морфологическому анализу.

2. Структура и функционирование подсистем АЛЛ описываются в виде операторных формул, содержащих операторы, отображающие механизмы (в соответствии с предложенной их классификацией) или функциональные их действия и логические связи между ними (., V).

$$U_i \cdot R_i \cdot F_i \cdot (V) [U_i \cdot F'_i \cdot (V) R_2, \dots, R_i \cdot F_i \cdot T_i] \quad (a)$$

3. В соответствии с разработанными процедурами по операторным формулам определяется количественный состав СКС подсистем: число переадресаций, механизмов разного класса, движений и приводов (N_n).

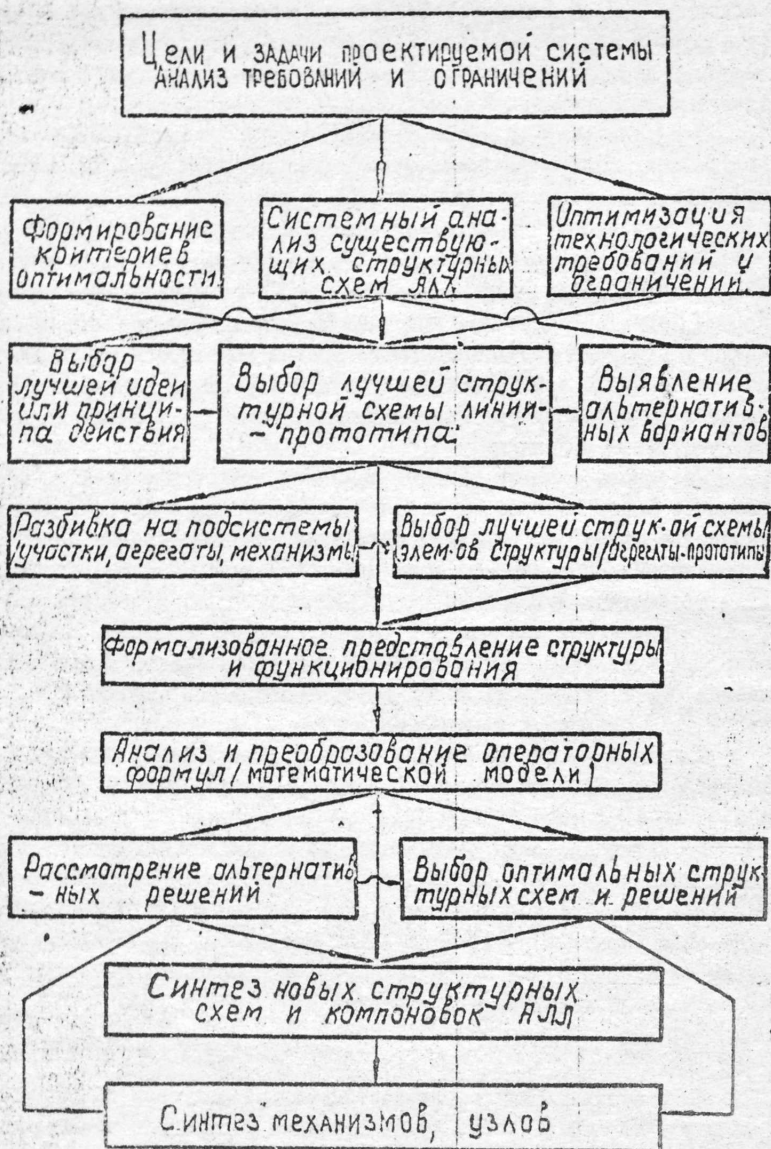


Рис. I Алгоритмы оптимизации и синтеза структурных схем АЛЛ

$$N_R = n_R + n_{R\bar{1}} \quad (9)$$

$$N_M = n_T + n_R + n_F + n_U \quad (10)$$

$$N_D = n_D - \bar{n} \quad (11)$$

$$N_n = N_M - \bar{n} \quad (12)$$

где n_T, n_R, n_F, n_U - соответственно число операторов, отображающих рабочие функции механизмов технологических, переадресаций, фиксации и системы управления;

n_T, n_R, n_F, n_U - то же, возвратные движения соответствующих механизмов;

n_D - общее число операторов в операторной формуле;

$\bar{n}$ - число операторов, отображающие механизмы без привода.

4. На основе анализа схемы переадресаций и выявления возможных вариантов для ее реализации осуществляется по соответствующим правилам, преобразование операторных формул с целью минимизации числа операторов и совершенствования логических связей. От преобразованных операторных формул с помощью векторного представления операторов осуществляется переход к графическому отображению новой схемы переадресаций и далее к СКС подсистемы.

5. На основе объединения преобразованных операторных формул и схем переадресаций подсистем осуществляется синтез новой СКС АЛЛ с лучшими показателями качества.

В диссертации дано подробное изложение методики поиска, выбора вариантов и методики структурной оптимизации линии-прототипа и синтеза новых СКС АЛЛ. Дан пример реализации разработанных методик. Использование их позволило синтезировать АЛЛ новой СКС, обеспечив при выполнении линией той же функции:

- уменьшение на 10% механизмов переадресации;
- увеличение на 20-22% времени охлаждения залитых форм;
- уменьшение на 10-12% занимаемой площади при улучшении организации заливки (с двух сторон);
- сокращение на 20% операторов, обслуживающих линию.

Новизна и положительный эффект данной линии защищены авторским свидетельством № 810374.

В пятой главе на основе разработанных методик осуществлен синтез СКС АЛЛ с новой структурой переадресаций поддонов (а.с. № 846103). В этой линии, в отличие от линии-прототипа полуформы устанавливаются на поддоны до простановки в них стержней и сборки их с верхними полуформами. Это обеспечивает увеличение на 1,5-2% выход годного литья за счет снижения брака форм, увеличение на 4-7% времени охлаждения форм, экономию на 3% производственных площадей, сокращение на 2% числа механизмов, уменьшение на 7-10% высоты опок, расхода формовочной смеси, грузопотока на линии и в системе обеспечения смеси. Данные преимущества линии позволят получить дополнительный экономический эффект в сумме 60 тыс. руб.

С использованием основных положений работы разработаны на уровне изобретений и внедрены в производство:

1. АЛЛ с новым участком охлаждения форм (а.с. № 806257). Линия снабжена сборщиком и разборщиком залитых форм с поддонами, позволяющими транспортировать их в два этажа с последующим уменьшением скорости в 2 раза на рольгангах-накопителях. 4 линии этой СКС поставлены в НРБ, две из которых внедрены на сталелитейном заводе. Экономический эффект одной линии в среднем составляет 350 тыс. руб.

2. АЛЛ для производства многономенклатурного литья (а.с. № 942882). Линия снабжена многопозиционным формовочным агрегатом с плавающей быстросменной оснасткой, конструктивно выполненным засдно с разборщиком опок. При этом обеспечивается сокращение числа переадресаций и механизмов, а также совмещение функций разборщика: распаровка опок и установка их на модельный комплект. Опытная АЛЛ внедряется на заводе "Ростсельмаш". Осуществлены привязки и подлежат серийному изготовлению 18 АЛЛ для одиннадцати заводов, в том числе для четырех "Центролитов". Ожидаемый экономический эффект от одной линии в среднем составит 450 тыс. руб.

3. Кантователь (а.с. № 529905, 891215). Устройства предназначены для поворота и одновременной переадресации поддонов (опок) на разных уровнях. С целью повышения производительности устройств время захода и время выхода объектов совмещаются. Кантователи внедрены в составе АЛЛ на заводах "Ростсельмаш", ВгТБ, ПТЗ и в НРБ.

4. Установка для выбивки опок (с крестовинами) (а.с.

№ 366027). Особенностью установки является максимальное совмещение движений, осуществляемых от одного привода. Установка эффективно эксплуатируется в составе АЛД 1200х1000 мм на заводе "Ростсельмаш".

ОБЩИЕ ИТОГИ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Повышение качества и сокращение сроков разработки АЛД можно обеспечить, используя формальные методы проектирования. Для этого необходимо использовать комплекс методов и приемов, облегчающих процесс поиска и выбора вариантов технической системы и ее элементов, математическое описание их структуры и функционирования с целью оптимизации по заданным критериям и ограничениям, а также методов перехода от описания к реализации новых решений.

2. Для исследования и синтеза структурных схем АЛД разработанная классификация механизмов по функциональным признакам. На основе предложенной классификации механизмов определена зависимость числа механизмов от числа технологических операций и переадресаций, выполняемых на линии. Установлено, что при равном количестве технологических операций число переадресаций в различных АЛД отличается в 1,2-1,4, а число механизмов - в 1,5-1,9 раза. Предложено различать структурную, конструктивную и кинематическую сложность АЛД и определять их по отношениям суммарного числа механизмов или соответственно переадресаций к числу технологических операций, выполняемых на линии.

3. Установлена избыточность структуры АЛД, ее виды и предложена формула для количественной ее оценки. Определены пути сокращения избыточности, к основным из которых относятся: совершенствование существующих или создание новых малооперационных технологических процессов, минимизация числа механизмов и переадресаций, совмещение функций и движений.

4. Выявлены различные схемы переадресаций и исследованы типовые их структуры. На основе исследования характера переадресаций определены формальные условия применения сопутствующих механизмов.

5. Дано математическое обоснование путей повышения производительности АЛД на стадии разработки, к основным из которых от-

носятся минимизация числа механизмов и переадресаций в СКС АЛЛ, совмещение времени технологических операций со вспомогательным, интенсификация движений до предельно допустимых величин, повышение надежности и унификации механизмов.

6. Выявлены и классифицированы факторы, которые необходимо учитывать при проектировании АЛЛ. К ним относятся экономические, технологические, конструктивные, организационно-технические и эксплуатационные. Классификация позволяет системно контролировать качество проектирования АЛЛ на разных его этапах.

7. На основе разработанных методик и алгоритма показано, что поиск и выбор рациональных СКС АЛЛ целесообразно осуществлять на основе морфологического анализа с выявлением характеристических признаков и определением альтернативных решений. Поиск завершается выбором СКС линии-прототипа, удовлетворяющей определенным критериям и ограничениям. Оптимизацию прототипа предлагается осуществлять поэлементно, путем минимизации операторных формул, описывающих структуру и функционирование технологических участков линии. Синтез новой СКС осуществляется на основе объединения преобразованных операторных формул и перехода к новому их графическому отображению.

8. На основе разработанной методики синтезированы новые СКС АЛЛ, выполненные на уровне изобретений и защищенные авторскими свидетельствами: АЛЛ с минимизированным числом механизмов, АЛЛ с новой структурой переадресаций поддонов. С использованием основных положений работы разработаны на уровне изобретений и внедрены в производство: АЛЛ с новым участком охлаждения форм, АЛЛ для производства многономенклатурного литья, пневмогидропривод, кантователи, установка для выбивки опок и другие механизмы АЛЛ.

9. Использование предложенных методик обеспечивает повышение качества и сокращение сроков разработки АЛЛ. Экономический эффект от использования работы составляет 80 тыс. руб. Экономический эффект от внедренных изобретений составляет 170 тыс. руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Березин Н.А., Новиков В.И. Структурные схемы автоматических литейных линий НИИ тракторосельхозмаши. - Производственно-технический бюллетень. / ЦНИИ Информации, 1976, № 1, с. 13-16.

2. Березин Н.А., Беликов О.А. Повышение производительности и надежности автоматических литейных линий на основе оптимизации их структурных схем. - Литейное машиностроение, 1978, вып. 9, с. 10-17.

3. Автоматические литейные линии для перевооружения литейного производства отрасли / Н.А. Березин, С.В. Кутовой, В.И. Новиков, Ф.Г. Штрако. - Тракторы и сельхозмашины, 1978, № 7, с. 36-38.

4. Кутовой С.В., Гуллер Э.А., Березин Н.А. Автоматические формовочные линии с новым участком охлаждения. - Сб.: Технология, экономика и организация производства, 1979, № 2, с. 19-22.

5. Березин Н.А. Оптимизация структурных схем автоматических литейных линий. Тр. / МВТУ, 1981, № 370. - Синтез литейных машин, с. 44-60.

6. Автоматическая литейная линия для разносерийного характера производства / Н.А. Березин, А.А. Ионов, С.В. Кутовой и др. - Сб.: Технология, экономика и организация производства, 1981, № 2, с. 3-7.

7. А.с. № 366027 (СССР). Установка для выливки опок. / А.И. Абрамов, Н.А. Березин, С.В. Кутовой и др. - Оpubл. в Б.И., 1973, № 7.

8. А.с. № 391888 (СССР). Устройство для нагружения литейных форм. / С.В. Кутовой, В.П. Зайцев, Т.Г. Бурмистрова, Н.А. Березин. - Оpubл. в Б.И., 1973, № 32.

9. А.с. № 529905 (СССР). Канторатель. / Н.А. Березин, С.В. Кутовой, В.М. Дашманова. - Оpubл. в Б.И., 1976, № 36.

10. А.с. № 663892 (СССР). Пневмогидропривод. / Н.А. Березин, С.В. Кутовой, В.И. Новиков, К.И. Орлова. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 19.

11. А.с. № 685414 (СССР). Подопочная платформа. / Н.А. Березин, Н.А. Виденкова, Э.А. Гуллер и др. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 24.

12. А.с. № 759231 (СССР). Автоматическая литейная линия.
/ С.В. Кутовой, Э.А. Гуллер, Н.А. Березин и др. - Оpubл. в Б.И.,
1980, № 32.

13. А.с. № 806257 (СССР). Автоматическая литейная линия.
/ Н.А. Березин, Н.А. Видонова, Э.А. Гуллер и др. - Оpubл. в Б.И.,
1981, № 7.

14. А.с. № 310374 (СССР). Автоматическая литейная линия.
/ Н.А. Березин, В.И. Мельников. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 9.

15. А.с. № 846103 (СССР). Автоматическая литейная линия.
/ Н.А. Березин, С.В. Кутовой. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 26.

16. А.с. № 891215 (СССР). Кантователь. / Н.А. Березин,
С.В. Кутовой, А.В. Нижегородцев и др. - Оpubл. в Б.И., 1981,
№ 47.

17. А.с. № 929308 (СССР). Устройство для выполнения вентиля-
ционных каналов в литейных формах. / Н.И. Растимешин, Н.А. Бере-
зин. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 19.

18. А.с. № 942882 (СССР). Автоматическая линия для производ-
ства многономенклатурного литья. / Н.А. Березин, А.А. Ионов,
С.В. Кутовой и др. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 26.

19. А.с. № 975179 (СССР). Способ транспортирования залитых
песчаных форм с подопочными плитами на АЛЛ. / Н.А. Березин,
Н.А. Видонова, Э.А. Гуллер и др. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 43.

20. А.с. № 975202 (СССР). Автоматическая литейная линия из-
готовления отливок вакуумной формовкой. / Н.А. Березин, В.А. Дол-
биткова, С.В. Кутовой и др. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 43.

Э.А. Гуллер