

М396849

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

КАРПОВ Павел Матвеевич

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ
СИСТЕМЫ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК**

**(НА ПРИМЕРЕ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ
ТРАКТОРНЫХ ЗАВОДОВ СССР)**

(Специальность 05.16.04 — литейное производство)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Москва, 1982

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1396879

Карпов П.М. Разработка и в

Работа выполнена в Волгоградском политехническом институте на кафедре «Машины и технология литейного производства»

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, проф. Коган Л. Б.,
доктор технических наук, проф. Сумцов В. Ф.,
доктор технических наук Снежной Р. Л.

Ведущее предприятие —

НПО «Ритм» Реутовский ПКТИ АСУ ТП

Защита состоится « » 19 г. на заседании
Специализированного совета Д 053.15.05 по защите диссертаций при МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу: г. Москва, 107005, 2-я Бауманская, д. 5.

Ваши
сим выс

С ди
им. Н. Э

Авто

печатью, про

теке МВТУ

198 г.

вета

ОВ

ИМ 00025
сокая пе-
таз 143.

Волгоград,

M396879

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. XXVI съезд КПСС поставил задачу в XI пятилетке обеспечить повышение эффективности общественного производства, ускорение научно-технического прогресса, рост производительности труда, всемерное улучшение качества работы во всех звеньях народного хозяйства, одним из которых является производство литых заготовок. XXVI съезд КПСС считает нетерпимым такие недостатки, как потери рабочего времени и простои, неритмичность в работе, которые в настоящее время имеют место и в литейном производстве.

Для решения поставленных задач XXVI съезд КПСС считает необходимым усилить внедрение современных научных методов, особенно экономико-математических, и предлагает точно считать и эффективно использовать каждый рубль, каждый час труда, каждую тонну продукции, до конца изжить бесхозяйственность.

Для решения этих важнейших задач (снижение себестоимости литых заготовок в результате сокращения потерь и более рационального использования материалов, экономии всех видов энергии и трудовых ресурсов; обеспечения более высокой и оптимальной загрузки всех видов литейного оборудования; увеличения объема выпуска заготовок; повышения качества отливок, формовочной смеси, стержней и т. д.) литейного производства необходимо дальнейшее совершенствование организации технологического процесса путем математического описания крупносерийного производства отливок в виде совокупности моделей, взаимосвязывающих в оптимальных технологических условиях загрузку оборудования аппаратурных процессов (плавильные и смесеприготовительные агрегаты, сушила, термические печи и т. д.), распределение производственной программы по технологическому оборудованию (литейные конвейеры, формовочные и стержневые машины и т. д.), использование рабочего времени производственных рабочих, составление рецептов формовочных и стержневых смесей, ваграночных и других металлозавалок.

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность литейного производства и качество отливок, является сбалансированность и ритмичность всего производственного процесса в оптимальных условиях. Проблема создания сбалансированного производственного процесса и управление

М 396879



им в оптимальных условиях является весьма актуальной, так как от ее решения зависит эффективность производства и стабильность качества отливок.

При совершенствовании организации производственного процесса отливок на Волгоградском тракторном заводе возникла необходимость в выполнении ряда исследований и разработке научно обоснованных рекомендаций для определения количественных значений параметров математических моделей и оптимальных значений взаимосвязей многономенклатурного крупносерийного производства отливок. Кроме того, при промышленной реализации математических моделей и установленных закономерностей крупносерийного производства отливок в оптимальных условиях возникла необходимость в разработке нового метода решения систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных и создания на его основе вычислительной техники, ускоряющей и упрощающей расчеты. Указанные вопросы не были освещены вообще или с достаточной полнотой ни в отечественной, ни в зарубежной литературе.

Цель исследования. Целью настоящей работы являются разработка и внедрение теоретических основ повышения эффективности крупносерийного производства и стабильности качества отливок.

Метод исследования. При разработке математических моделей производственных, технологических и технико-организационных взаимосвязей в крупносерийном литейном цехе использованы методы описания задач для линейного, целочисленного и динамического программирования.

Для реализации математических моделей в производственных условиях использованы новый метод решения неопределенных систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных, программирование этим методом и вычислительная техника, созданная на его основе. Для определения некоторых параметров математических моделей — экспериментальный с применением системного подхода к анализу проблем, планированию экспериментов и обобщению опытных данных.

Научная новизна. Защище подлежат следующие научные положения:

1. Крупносерийное производство отливок в современных условиях может быть значительно более эффективным и стабильным, т. е. эффективнее использоваться аппаратное

(вагранки, смесители, сушила и т. д.) и технологическое (конвейеры, формовочные и стержневые машины и т. д.) оборудования, основные и вспомогательные материалы (кокс, огнеупоры, песок, глина и т. д.), электроэнергия, производственные рабочие и т. д.; увеличен выпуск, снижена себестоимость и стабилизировано качество отливок.

2. Крупносерийное производство отливок может быть описано совокупностью математических моделей, т. е. оптимальные рецептурные составы (металлозавалка, формовочные и стержневые смеси и т. д.), оптимальная загрузка аппаратного и технологического оборудования, оптимальное использование рабочего времени производственных рабочих и т. д.

3. Новый метод решения систем линейных уравнений и вычислительная техника, созданная на его основе, могут быть использованы для программирования и решения задач литейного производства.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований и разработанного нового метода решения систем линейных уравнений и вычислительных устройств, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения № 158164, № 273526 и № 439820, разработаны и внедрены: методика выбора вариантов отливок на изготовление в многономенклатурных литейных цехах, обеспечивающая высокую ритмичность, эффективность производства и стабильность качества отливок; методика составления ваграночных металлозавалок, где дифференцированно учитываются металлургические потери (кремния и марганца) и колебания весовых количеств компонентов при дозировании, которая позволила использовать любые компоненты в металлозавалке (низкокремнистые и передельные чугуны, высокопроцентные ферросплавы), обеспечивая высокую стабильность состава чугуна; методика составления формовочной смеси при многономенклатурном производстве отливок, где в отработанной смеси дифференцированно учитываются потери влаги, глины и др., позволившая значительно стабилизировать состав смеси.

Промышленная реализация названных методик позволила повысить качество отливок, увеличить выпуск продукции и производительность труда, снизить себестоимость отливок за счет рационального использования людей, техники, всех видов материалов, сократить брак отливок и нерациональные расходы. Экономический эффект от внедрения результатов работы в производстве, подтвержденный 22 актами Волгоградского тракторного завода и Министерством тракторного

и сельскохозяйственного машиностроения, составил более 10 млн. рублей.

Ряд результатов работы внедрен в расчетно-инженерную практику НИИ, вузов и заводов:

— в Волгоградском НИИТМаше при разработке руководящих технических материалов (инструкция по организации планирования производства заготовок в литейных цехах оптимальными партиями, инструкция по организации планирования производства отливок с применением ЭВМ, инструкция на технологию выплавки серого и ковкого чугуна в вагранке с применением в составе металлической шихты доменных переплавочных чугунов взамен литейных) для литейных цехов Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения (МТиСХМ), где использованы новый метод решения систем уравнений, методика выбора вариантов отливок на изготовление при многономенклатурном производстве отливок и дифференцированный учет металлургических потерь;

— в Волгоградском политехническом институте по заказу МТиСХМ при разработке руководящих технических материалов (инструкция по расчету ваграночной металлозавалки на заданный состав) для отрасли использована методика дифференцированного учета металлургических потерь при составлении ваграночных металлозавалок.

Апробация работы. Результаты работы многократно докладывались на конференциях (XXIV Всесоюзная научно-техническая конференция литейщиков, Горький, 1969 г., Всесоюзная конференция «Статистические методы контроля, моделирования и оптимизации технологических процессов» апрель, МЭСИ, 1971 г., Волгоградские областные конференции литейщиков, Волгоград, 1960, 1961, 1971 гг., научно-теоретические конференции секции литейного производства, НТО и Волгоградский политехнический институт, 1970—1980 гг. и др.), на научных семинарах в литейном отделе ЦНИИТМаш г. Москва, на кафедре литейного производства Московского вечернего металлургического института, на кафедре экономики и организации промышленных предприятий Уральского политехнического института, Волгоградском тракторном заводе и других организациях.

Основное содержание работы опубликовано в 4 брошюрах, выпущенных издательством ГОСИТИ, в 73 статьях, напечатанных в центральных журналах и научно-технических сборниках.

Объем работы. Диссертация изложена на 307 страницах

машинописного текста, содержит предисловие, шесть глав и общие выводы, включает, кроме текста, 41 страницу рисунков, 17 таблиц, 125 стр. приложений и список литературы из 266 наименований.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из главных задач развития народного хозяйства СССР в XI пятилетке является повышение эффективности производства на основе технического прогресса, совершенствования организации производства и труда, улучшения использования производственных фондов, сырья, топлива, материалов, трудовых и финансовых ресурсов, сокращения всех затрат на производство единицы изделия, улучшения качества продукции.

Для решения этой актуальной задачи, выдвинутой на XXIII съезде КПСС Л. И. Брежневым и значительно развитой и углубленной на XXIV—XXVI съездах КПСС, намечены четыре основных направления:

- снижение материалоемкости, экономия сырья и материалов;

- рациональное использование трудовых ресурсов, снижение трудовых затрат, в первую очередь за счет сокращения ручного и физического тяжелого труда;

- существенное повышение качества производственной продукции и, соответственно, развитие производств, обеспечивающих решение этой задачи;

- повышение эффективности машиностроительного производства за счет совершенствования его технологии и улучшения организации.

Для реализации этих основных направлений повышения эффективности производства (многономесклатурного крупносерийного производства литых заготовок) КПСС ведущую роль отводит ускорению развития исследований в области теоретической и прикладной математики, обеспечивающей широкое применение математических методов в различных отраслях науки и техники.

Несмотря на множество работ и исследований, как, например, Д. К. Чернова, В. С. Кнаббе, П. Н. Бидули, П. Н. Аксенова, Н. Г. Гиршовича, Г. Ф. Баландина, А. А. Горшкова, Ю. А. Степанова, Б. С. Мильмана, Д. П. Иванова,

В. П. Черногорова, В. П. Чернобровкина и многих других, а также и за рубежом, которые привели к значительному повышению общего уровня качества чугуна, при производстве литых заготовок еще недостаточно обеспечивается однородности и равномерности его свойств, которые определяются, главным образом, стабильностью химического состава.

Наиболее прогрессивная техника и технология производства (автоматические линии для изготовления форм и стержней, автоматическая разливка жидкого металла в формы, автоматические дозирующие установки компонентов шихты, электронно-вычислительные машины для расчета шихт, подогрев и обогащение дутья кислородом, модифицирование чугуна и другое) не находят должного применения в цехах крупносерийного производства отливок из-за недостаточной сбалансированности всей многогранности технологического процесса во всех его звеньях. Новая прогрессивная технология производства при низкой организации не дает требуемой эффективности производства и качества продукции.

Л. И. Брежнев отмечает: «Многие наши предприятия, к сожалению, все еще серьезно отстают в отношении организации производства, призванной соединить технику и людей в едином производственном процессе. Вот почему в качестве одной из первоочередных народнохозяйственных задач является внедрение на всех наших предприятиях научной организации производства, соответствующей требованиям современного научно-технического прогресса».

Решение множества взаимосвязанных технико-экономических вопросов при производстве литых заготовок относится к оптимизации производственного процесса при крупносерийном производстве отливок и является одной из актуальных проблем наших дней.

В диссертации на примере анализа работы тракторных заводов СССР установлено:

— возможность значительного повышения эффективности крупносерийного производства (снижение себестоимости в результате сокращения потерь и более рационального использования материалов, экономии всех видов энергии и трудовых ресурсов, обеспечения более высокой и оптимальной загрузки всех видов литейного оборудования и увеличения объема выпуска) и качества отливок (путем оптимизации технологических процессов производства металла, формовочной смеси, стержней и обеспечения высокой стабильности химического состава и других параметров жидкого металла, постоян-

ства свойств формовочной смеси и стержней) на основе использования математических методов;

— крупносерийное производство отливок математически может быть описано в виде совокупности математических моделей, взаимосвязывающих в оптимальных условиях загрузку оборудования аппаратурных процессов (плавильные и смесеприготовительные агрегаты, сушила, термические печи и т. д.), распределение производственной программы по технологическому оборудованию (литейные конвейеры, формовочные и стержневые машины и т. д.), использование рабочего времени производственных рабочих, оптимизацию рецептов формовочных и стержневых смесей, ваграночных и других металлозавалок.

Для реализации в производственных условиях совокупности математических моделей производства отливок с целью повышения эффективности производства и стабильности качества отливок выполнен ряд исследований по определению количественных параметров математических моделей (уточнены потери кремния и марганца в каждом компоненте ваграночной металлозавалки, влаги и процента глины, потерявшего связующую способность, в формовочной смеси каждой литейной формы, нормы выработки производственных рабочих на отдельных видах оборудования и т. д.);

— установлено влияние параметров многономенклатурного крупносерийного производства отливок на прогрессивные формы организации производства (возможность раскрепления изготовления литейных форм и стержней за отдельными производственными рабочими, установления соответствия сменности цеха с цикличностью производства, минимизации величины задела отливок и т. д.);

— приведен новый метод решения любых систем линейных уравнений, разработанный автором, позволяющий при многовариантных значениях переменных принять оптимальное решение, и на его основе созданы вычислительные устройства, ускоряющие и упрощающие вычислительные операции при решении многовариантных задач литейного производства;

— показана возможность линейного, целочисленного и динамического программирования математических моделей задач литейного производства новым математическим методом в оптимальных условиях;

— приведены результаты использования теоретических разработок автора (новый метод решения систем линейных

уравнений, уточнение величины угара кремния и марганца при переплаве в вагранке, использование низкокремнистых и передельных чугунов при выплавке серых ваграночных чугунов, использование высокопроцентных ферросплавов ФС 25, ФС 45 в ваграночной металлозавалке взамен доменных ФС 10, ФС 18, отмена использования марганцевой руды в ваграночной металлозавалке и т. д.) научными организациями страны для создания инструкций и методик, повышающих эффективность производства и качество отливок с использованием ЭВМ для литейного производства;

— приведены многовариантные задачи крупносерийного производства отливок, подлежащие оптимизации путем использования автоматизации и быстродействующих вычислительных средств, решение которых позволит значительно повысить эффективность производства и качество отливок;

— приведены сведения о реализации в промышленности научных результатов.

Автором вносится в исследование проблемы, указанной в наименовании диссертации, следующее:

— математическое моделирование технологических, технических, экономико-организационных задач литейного производства для его оптимизации;

— использование математических методов для линейного, целочисленного, динамического программирования при оптимизации литейного производства;

— поиск неизвестных параметров, входящих в математические модели задач литейного производства;

— использование вычислительной техники для решения задач литейного производства в оптимальных условиях;

— рекомендации по оптимизации крупносерийного производства отливок и их реализации в промышленных условиях тракторных заводов со значительным эффектом.

Основные положения, выносимые на защиту:

— крупносерийное производство отливок в современных условиях может быть значительно более эффективным и стабильным;

— крупносерийное производство отливок может быть описано совокупностью математических моделей;

— новый метод решения систем линейных уравнений и вычислительная техника, созданная на его основе, могут быть использованы для программирования и решения задач литейного производства.

Глава 1

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Анализ производственных данных показывает, что в литейных цехах тракторных заводов страны при единых технических требованиях к литым чугунным отливкам механические свойства колеблются в широких пределах. Наблюдается значительный перерасход предусмотренных нормативами основных и вспомогательных материалов, ферросплавов, огнеупоров, кокса, энергии и других видов материалов. С недостаточной полнотой используются производственные мощности, большой комплекс литейного оборудования (плавильные агрегаты, стержневые машины, смесеприготовительное оборудование и др.)

В настоящее время имеется огромное количество научных работ, как отечественных, так и зарубежных, посвященных исследованиям ваграночного процесса, физико-механическим свойствам ваграночного чугуна, расчетам шихты, дозированию компонентов металлозавалки, технологии получения качественных формовочных и стержневых смесей, производству форм и стержней различными методами, но каждая работа и исследование относятся к какому-либо одному звену, сложнейшей взаимосвязанной цепи технологического процесса при крупносерийном производстве отливок, предполагая, что остальные звенья технологического процесса не оказывают влияния на ход изучаемого звена. В действительности технологический процесс при крупносерийном производстве отливок, представляет сложнейшую задачу, в которую взаимосвязанно входят множество технологических факторов, математических решений, экономических вопросов, от комплексного решения которых зависят качество и стабильность механических свойств, экономические показатели выпускаемой продукции, рациональность и эффективность всего производства отливок.

Наряду с исследованиями многих факторов, вызывающих изменение состава чугуна при переплаве в вагранке, некоторые, как, например, раздробленность кусков металла шихты, концентрация химических элементов в кусках металла, влияние окисления кусков металла в шахте вагранки в период подогрева и др., еще недостаточно изучены. В связи с этим, с большой точностью учесть угар элементов в чугуне при переплаве в вагранке не представляется возможным. При выплавке ваграночного чугуна в литейных цехах назначают средний угар элементов в зависимости от производст-

Венных условий. При массовом производстве чугуна, когда используются различные материалы в процентном соотношении, по химическому составу, раздробленности кусков металла, попадание в заданный химический состав становится сложной проблемой.

В шихту для переплава вводят многие составляющие, которые отличаются по маркам, по габаритности, по содержанию химических элементов в отдельных кусках и т. д., но сведений, позволяющих установить, можно ли из выбранных составляющих составить шихту заданного состава, пока недостаточно. Для составления шихт следует разработать теоретические основы составления сплавов заданного химического состава из любого количества составляющих, которые позволят использовать их при расчете шихт, добываясь высокого постоянства шихты по весу и химическому составу.

При составлении ваграночной шихты аналитическим методом, с помощью систем линейных уравнений, в большинстве случаев получается неопределенная система уравнений. В настоящее время расчет шихты нуждается в новом математическом методе, который обеспечивал бы точное определение весовых количеств составляющих и не нарушал шихты ни по весу, ни по химическому составу и в случае многовариантности ответов позволял бы выбрать наиболее оптимальный вариант. К тому же новый математический метод составления шихт должен быть удобным и простым в применении, желательно иметь такой метод составления шихты, который легко можно было бы выполнить с помощью счетных машин или других вычислительных средств.

Попытки создания различных вычислительных машин для расчета ваграночной металлозавалки, автоматизированных и механизированных устройств для дозирования компонентов шихты, не находят широкого промышленного применения, особенно на заводах крупносерийного производства, главным образом, потому, что они, каждая в отдельности, не обеспечивают взаимосвязанного решения большого комплекса технологических факторов ваграночного переплава, относящихся к обеспечению химического состава чугуна.

Дозирующее устройство позволяет в какой-то степени обеспечить только стабильность веса металлозавалки, но не учитывает изменение угара элементов в связи с корректировкой пропорций отдельных компонентов в металлозавалке и, самое главное, не учитывается количество внесенного контролируемого химического элемента металлозавалкой.

В настоящее время назрела необходимость в широком исследовании взаимосвязи технологических факторов ваграночного переплава и в создании научно обоснованной теории дозирования шихтовых материалов для ваграночного процесса. Основы теории дозирования должны совместить учет угара элементов, расчет компонентов металлозавалки и дозировку, т.е. эти три фактора должны рассматриваться взаимосвязанно.

Повышение эффективности при крупносерийном производстве отливок требует всестороннего усиления экономического анализа. Осуществление оптимизации планирования и связанный с этим переход от одновариантных к многовариантным расчетам возможны только на основе самого широкого развития анализа, с использованием математических методов и электронносчетной техники.

Наиболее узким местом при повышении технико-экономической эффективности работы литейного цеха в настоящее время стала организация производства, которая является тормозом к дальнейшему совершенствованию техники и технологии, внедрению новых наиболее прогрессивных технологических процессов. Менее изученным в организации крупносерийного производства является выбор вариантов отливок на изготовление, обеспечивающих рациональное использование большого комплекса взаимосвязанного оборудования, загрузку производственных рабочих, оптимальный ход аппаратурных процессов, достигая высокого качества отливок при повышенной эффективности.

В настоящее время в литейных цехах техника, технология и организация производства тесно взаимосвязаны. За последние годы механизированы и автоматизированы некоторые литейные цехи на ряде заводов страны. Однако далеко не все установки, запроектированные в этих цехах как автоматические, работают в автоматическом режиме. Там, где технический прогресс осуществляется не комплексно, эффект от него резко снижается. Нередко делается попытка решить задачи совершенствования техники и технологии, исходя из существующей организации производства. Между тем, в ряде случаев новейшие технологические процессы не могут быть успешно внедрены без коренного изменения этой организации.

Для обеспечения оптимизации производственного процесса при крупносерийном производстве отливок в современных многономенклатурных литейных цехах, т.е. для повышения стабильности химического состава чугуна, физико-механиче-

ских свойств и качества литых отливок, повышения эффективности использования оборудования и людских ресурсов, рационального использования производственных мощностей, для сокращения расхода основных и вспомогательных материалов; увеличения выпуска товарной продукции и повышения в целом технико-экономических показателей литейного цеха необходимо:

1. Разработать математические основы и создать вычислительную технику для выбора вариантов отливок на изготовление, обеспечивающих при многономенклатурном производстве оптимальные условия.

2. Разработать математические модели для описания локальных задач крупносерийного многономенклатурного производства отливок.

3. Разработать математические основы и на их основе создать вычислительную технику для ускорения вычислительных работ при решении математических моделей по определению оптимальных условий производства отливок.

4. Установить неизвестные параметры математических моделей литейного производства и обосновать технико-экономическую целесообразность использования отдельных видов материалов при производстве отливок.

5. Показать возможность использования математических методов и средств вычислительной техники для повышения эффективности производства, стабильности химического состава и качества отливок, оптимального использования всех видов материалов и энергии, загрузки оборудования, увеличения объема выпуска, оптимизации всего производственного процесса.

Глава 2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИКО- ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ЛИТЕЙНОМ ЦЕХЕ

Для обеспечения высокой производительности труда, ритмичной и равномерной загрузки оборудования, для повышения качества и стабильности свойств отливок, экономии всех видов материалов и энергии необходимо управлять производственным процессом, а это в многономенклатурных литейных цехах возможно только при использовании матема-

тических методов и вычислительной техники, при условии выбора для изготовления таких вариантов отливок, которые обеспечат оптимальный ход производственного процесса. Использование математических методов в литейном производстве предполагает овладение следующими двумя умениями:

- выражать математическим языком (моделировать) производственные процессы литейных переделов и технико-экономические взаимосвязи многономенклатурного производства отливок;

- пользоваться методикой (если такая имеется или создать ее) решения математических моделей задач, описывающих производство отливок в оптимальных условиях.

Овладение первым умением для производственников представляет значительную трудность, так как требуется в математической форме выразить потребность в технике, технологии и людских ресурсах для всех литейных переделов и установить их взаимосвязи в оптимальных условиях.

Овладение вторым умением вообще представляет сложнейшую проблему, так как большинство математических моделей задач литейных переделов описывается неопределенной системой линейных уравнений.

Реальное многономенклатурное производство отливок при этом требует из множества возможных решений выбрать только те решения, где искомые переменные положительны и отвечают заданным оптимальным условиям.

В основе математических моделей задач литейных переделов цеха заложена взаимосвязь между «производством» и «потреблением» внутри самого цеха.

Под «производством» в математических моделях задач литейного производства отливок следует понимать количественные возможности обеспечения отдельных показателей крупносерийного производства отливок при оптимальном ходе технологических, физико-химических и других аппаратурных процессов (смесеприготовление, приготовление жидкого металла, термообработка отливок, производство стержней и т. д.), при оптимальной загрузке технологического оборудования (литейные конвейеры, автоматические линии, формовочные и стержневые машины, металлообрабатывающее, стержнеобрабатывающее, разливочное, очистное и другое оборудование).

Под «потреблением» в математических моделях задач литейного производства отливок следует понимать количественные значения отдельных показателей производства отливок,

необходимые для выполнения принятого на изготовление варианта отливок.

Оптимальная загрузка оборудования аппаратурных процессов при параллельном режиме работы литейного цеха будет соответствовать положительным решениям системы линейных уравнений:

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &\leq B_1, \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n &\leq B_2, \\ &\vdots \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{mn} \cdot x_n &\leq B_m, \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

где x — количество отливок, равное полусменной или сменной выработке;

$j = 1, \dots, n$ — порядковые номера переменных — изготавливаемых отливок;

$i = 1, \dots, m$ — порядковые номера уравнений — видов аппаратного оборудования;

a_{ij} — доли загрузки i -го оборудования при изготовлении j -ой отливки;

B_i — целые положительные числа — количество действующего аппаратного оборудования i -го вида.

Целевой функцией данной задачи является выбор вариантов отливок на изготовление, обеспечивающих оптимальные условия работы оборудования аппаратурных процессов.

Выполнение минимальных условий оптимизации производства отливок путем решения системы уравнений (2.1.1) позволяет создать оптимальный ход аппаратурных процессов, обеспечить равномерность и ритмичность производства отливок, стабильность свойств аппаратурной продукции и эффективное использование материалов.

Аналогично составляются и следующие модели:

- модели оптимального распределения загрузки по оборудованию (литейные конвейеры, автоматические линии и т. д.), где требуется найти вариант использования оборудования, обеспечивая выпуск продукции при минимуме затрат;

- модели оптимального распределения загрузки стержневого оборудования по критерию максимального выпуска при строгом соблюдении комплектности стержней k многостержневым отливкам, где требуется найти решение, которое обеспечит целевую функцию на максимум выпуска комплектов;

— модели оптимального использования рабочего времени производственных рабочих, где требуется найти решение, которое обеспечит целевую функцию на максимум выпуска продукции;

— модели оптимальных рецептурных смесей для аппаратурных процессов.

Этот комплекс математических моделей задач литейных переделов производства отливок в многономенклатурных литейных цехах, описывающий многие стороны взаимосвязей производства (технику, технологию, людей) можно признать за совокупность математических моделей производства отливок, где за общую целевую функцию принята себестоимость.

Для составления совокупности математических моделей крупносерийного производства отливок необходима широкая и вполне достоверная информация.

Определение необходимого количества положительных вариантов решений (на весь расчетный период — месяц, неделю и т. д.), приводящих совокупность математических моделей к оптимальным условиям при определенных ограничениях, может быть выполнено новым методом решения систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных или с помощью вычислительной техники, созданной на его основе.

В цехах крупносерийного производства, работающих в параллельном режиме, отливки, включаемые в программу изготовления, повторяются через некоторые промежутки времени. Чтобы производство отливок при этом было эффективным, необходимо, чтобы повторяемость отливок при изготовлении была бы строгой. Эффективность производства и повторяемость отливок на изготовление зависят от оптимальности трех взаимосвязанных параметров производства: размера нормальных партий формовок, периода повторения партий отливок в формовке, размера заделов готовых отливок. Выбор вариантов отливок на изготовление очень затрудняется, когда на одном и том же рабочем месте (на формовочной машине) чередуются партии разного размера, повторяющиеся через разные и некратные друг другу периоды времени.

Для удобства планирования производства отливок чрезвычайно важно, чтобы число периодичностей, по которым округляются размеры партий, было невелико, и эти периодичности были бы кратными между собой, т. е. укладывались

в месячный период целое число раз. Составление стандартного календарного графика формовки, учитывающего ритмичную повторяемость отдельных отливок в формовке с различной для каждой из них периодичностью, равномерную загрузку рабочих мест, сбалансированность сменных заданий по потребности в жидком металле, наличие маневренного резерва по загрузке и т. п., представляют собой довольно сложную задачу. Однако несоблюдение этих факторов обязательно приводит к неполному использованию наличных ресурсов, к невыполнению плана выпуска отливок.

Периодичность изготовления всей номенклатуры отливок, закрепленной за участком (конвейером), определяется из следующей зависимости (в % от месяца)

$$T = \frac{1}{f} \cdot \frac{100}{a \cdot b \cdot c} [k \cdot n_1 + (k-1) (n_2 - n_1) + \dots + 1 \cdot (n_k - n_{k-1})],$$

где T — периодичность изготовления всей номенклатуры отливок;

a — количество формовочных машин, обслуживающих литейный конвейер или участок;

b — количество рабочих дней в соответствующем месяце;

c — количество рабочих смен за одни сутки;

k — количество наименований отливок, планируемых на изготовление в соответствующем месяце;

n_i — количество станкосмен, потребное на выполнение месячного задания по соответствующему наименованию отливки;

f — коэффициент кратности программы отливок.

Эта формула оказалась пригодной для определения минимальной длительности стандарт-плана формовки в любом литейном цехе.

Анализ конкретных месячных планов производства отливок на многих заводах страны, выполненный с помощью периодичности изготовления всей номенклатуры, показывает, что минимальная длительность стандарт-плана в многономенклатурных литейных цехах составляет от 50 до 75 процентов месячного бюджета времени. Эта математическая зависимость (T) действительно подтвердила, что при произвольном составлении плана изготовления отливок и ежемесячном изменении месячного задания литейному цеху составление стандарт-плана формовки даже теоретически не представляется возможным и не оправдывается,

Анализ периодичности (Т) изготовления всей номенклатуры показывает, что путем изменения пропорций отдельных отливок в месячном задании или путем группировки моделей нескольких наименований отливок на подмодельной плите можно изменить величины $p_1, p_2, \dots, p_k$, сделав их кратными некоторым числам, что позволяет сократить длительность стандарт-плана «расписания» и довести его до 0,5, 1,0, или 2,0 недель.

Использование установленной математической зависимости Т в реальных промышленных условиях позволило нам более внимательно взглянуть на составление плана изготовления отливок в многономенклатурном литейном цехе.

Только оптимальный план производства отливок позволяет его выполнить при высокой эффективности производства, подчиняясь строгой повторяемости — «расписанию» — производства отливок.

Нами установлена зависимость минимальной величины задела отливок для многономенклатурного литейного цеха, которая пригодна для любого участка (конвейера, цеха) и выражается следующей зависимостью:

$$C = \frac{A \cdot \left(\sum_{i=1}^k S n_i \cdot N_i + B \right)}{B}$$

где С — величина задела, выраженная через количество станкосмен;

А — количество пар машин на конвейере (участке), шт.;

В — количество отливок, закрепленных за конвейером (участком), шт.;

С — сумма членов арифметической прогрессии;

п — количество членов арифметической прогрессии, всегда равное числу смен между формовками соответствующей отливки;

$\frac{1}{n+1}$ — разность арифметической прогрессии;

N — количество отливок с одинаковой периодичностью запуска;

к — количество сумм членов арифметической прогрессии $K \leq B$.

Величина задела отливок в многономенклатурном цехе находится в зависимости от периодичности (Т) изготовления всей номенклатуры.

Установленные нами математические зависимости периодичности (Т) изготовления литых заготовок и величины задела отливок (С) в многономенклатурном цехе позволяют:

— корректировать производственную программу изготовления отливок литейным цехам, добиваясь максимального выпуска продукции при рациональном использовании производственных мощностей, рабочей силы, экономном использовании всех видов сырья;

— спланировать выполнение производственной программы по отдельным машинам, конвейерам, участкам, отделениям и цехам, добиваясь наилучших технико-экономических результатов;

— обеспечить равномерный и ритмичный ход производства при научной организации труда и производства в литейных цехах.

Глава 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕШЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИСКОМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ НОВЫМ МЕТОДОМ

В основу нового графо-аналитического метода решения систем линейных уравнений приняты следующие допущения:

1. Неизвестные, входящие в уравнения, рассматриваются, как система сил, линии действия которых параллельны в пространстве.

2. Мерность пространства определяется количеством уравнений, из которых составлена система линейных уравнений.

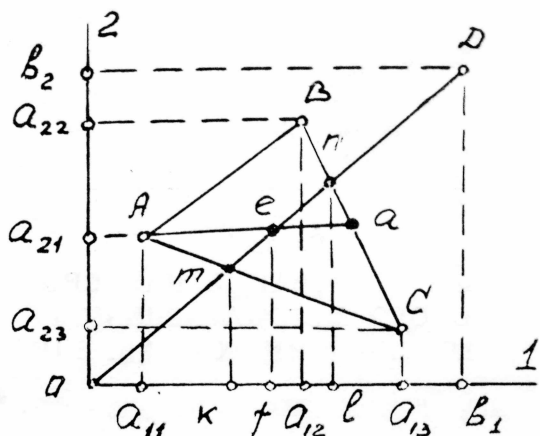
3. К любому уравнению системы линейных уравнений применима теорема о моменте равнодействующей: «Момент от равнодействующей системы сил равен сумме моментов от составляющих относительно одной и той же оси».

Тождественность решений систем определенных линейных уравнений, как аналитическим методом (правилом Крамера и Кронекера), так и новым графо-аналитическим методом в диссертационной работе доказана.

Решение новым методом системы линейных уравнений вида

$$\begin{aligned}a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 &= b_1, \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 &= b_2.\end{aligned}$$

В прямоугольной системе координат 1—2 строят точки $A(a_{11}, a_{21})$, $B(a_{12}, a_{22})$, $C(a_{13}, a_{23})$, $D(b_1, b_2)$. Точки A , B и C соединим между собой и получим замкнутый треугольник



ABC. Геометрическое место точек треугольника ABC есть область возможных положительных решений левой части системы уравнений. Если прямая OD, соединяющая начало координат с точкой D, пересекает этот треугольник, то система уравнений имеет решение при положительных значениях искомых переменных. Любая точка отрезка mn соответствует решению системы уравнений при положительных значениях искомых переменных. Так для точки e значения неизвестных x_1 , x_2 и x_3 можно найти из соотношения длин отрезков:

$$x_1 + x_2 + x_3 = \frac{b_2}{ef}; \quad x_1 = \frac{b_2}{ef} \cdot \frac{ae}{Aa}; \quad x_2 + x_3 = \frac{b_2}{ef} \cdot \frac{Ae}{Aa};$$

$$x_2 = \frac{b_2}{ef} \cdot \frac{Ae}{Aa} \cdot \frac{aC}{BC}; \quad x_3 = \frac{b_2}{ef} \cdot \frac{Ae}{Aa} \cdot \frac{Ba}{BC}.$$

С изменением положения точки e на отрезке mn меняется величина отрезков ef, ae, Aa, Ae, aC, Ba и Ca, что соответственно вызывает изменение x_1 , x_2 и x_3 . Если прямая OD не пересекает треугольник ABC, то это означает, что при данных коэффициентах и свободных членах система линейных уравнений не имеет решения при положительных значениях переменных.

Новый метод решения систем линейных уравнений в об-

ласти положительных значений искоемых переменных применим к системам с любым числом уравнений при произвольном количестве переменных. Новый метод решения систем линейных уравнений достаточно широко описан в диссертационной работе и в следующих источниках [1, 2, 19]. Определение положительных значений искоемых переменных системы линейных уравнений новым методом может осуществляться на вычислительном устройстве [8]. На основе нового метода решения систем линейных уравнений созданы три вычислительных устройства, позволяющие ускорить и упростить процесс определения значений искоемых переменных.

Глава 4

ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НОВОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

В диссертационной работе и литературных источниках [4, 5, 6, 7] показана возможность использования нового метода решения систем линейных уравнений для линейного программирования общеизвестных задач:

— группа А — общий вид задач линейного программирования (рецептурные смеси, загрузка оборудования аппаратурных процессов и т. д.);

— группа Б — распределение загрузки при заданном ассортименте продукции и размерах выпуска на минимум издержек;

— группа В — транспортные задачи;

— группа Г — распределение загрузки при заданной комплектности с расчетом на максимальный выпуск.

Все эти группы задач А, Б, В и Г имеют место при математическом моделировании производства отливок в многономенклатурных цехах крупносерийного производства.

Новый метод линейного программирования имеет хорошую наглядность при графическом построении области возможных решений, четко отражает экономическую сущность задачи и позволяет до вмешательства в реальные производственные условия обнаружить и определить возможный объем технико-экономического эффекта.

Линейное программирование новым методом в отличие от симплексного метода позволяет избежать большого объема вычислительных работ и довольно просто найти значения ис-

комых переменных, отвечающих оптимальным условиям задачи. Линейное программирование новым методом применительно к многономенклатурному производству отливок опробовано в производственных условиях.

Новый метод решения систем уравнений в области положительных значений искомых переменных с большим успехом может быть использован и для решения задач, где некоторые факторы носят изменяющийся характер. В диссертации на примере составления смеси из компонентов, стоимости которых носят переменный характер, показана возможность определения положительных значений искомых переменных в оптимальных условиях, что полностью соответствует целочисленному программированию. Использование нового метода решения систем уравнений в целочисленном программировании значительно расширяет круг задач литейного производства, решаемых математическими методами.

В диссертации на примере (где в заданных условиях совмещены учет потерь контролируемых элементов, определение значений компонентов металлозавалки и переход от одного варианта значений компонентов к другим) дозирования компонентов ваграночной металлозавалки при сохранении оптимальных условий показана возможность использования нового метода решения систем уравнений для динамического программирования. На основе динамического программирования разработана теория дозирования компонентов ваграночной металлозавалки, использование которой позволяет обеспечивать высокую стабильность состава ваграночных чугунов.

Глава 5

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ОТЛИВОК К ПРОГРАММИРОВАНИЮ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

5.1. Уточненный расчет ваграночной металлозавалки

В промышленных условиях при составлении ваграночной металлозавалки величину угара кремния (марганца) обычно назначают средней для всей металлозавалки, независимо от процентного соотношения отдельных компонентов и их физического состояния в металлозавалке. В результате выполненных исследований были установлены значения величин угара кремния (марганца) в различных компонентах вагра-

ночной металлозавалки, которые учитывают развитость поверхности кусков металлозавалки и процентное содержание контролируемого элемента. Установлена формула для определения потерь кремния (марганца) при переплаве металлической шихты в вагранке_к

$$\Delta_m = \frac{\sum_i \Delta_i \cdot \pi_i \cdot x_i}{100 \cdot x_m},$$

где Δ_m — относительная величина угара элемента в металлозавалке;

Δ_i — относительная величина угара элемента в компоненте металлозавалки;

π_i — содержание компонента в металлозавалке, %;

x_i — содержание элемента в компоненте металлозавалки, %;

x_m — содержание элемента в металлозавалке, %.

Пользуясь новым методом решения систем уравнений в области возможных положительных значений искомых переменных и результатами исследований по уточнению величины угара кремния (марганца) в каждом компоненте, определяли весовые значения компонентов в металлозавалке. При надежном взвешивании и известном химическом составе компонентов металлозавалки содержание кремния и марганца в жидком чугуна обеспечивается в заданных пределах с незначительными отклонениями от расчетного ($\pm 3,0\%$). Эта методика расчета ваграночной металлозавалки позволила использовать в шихте различные компоненты (низкокремнистые и передельные чугуны, брикетированную стружку, высокопроцентные ферросплавы), обеспечивая высокую стабильность состава жидкого чугуна.

5.2. Теория дозирования компонентов ваграночной металлозавалки.

В практике ваграночного переплава непопадание в заданный состав чугуна (кремний, марганец) происходит, главным образом, по двум причинам:

— несоответствие среднего угара, принятого при расчете компонентов металлозавалки, действительному;

— нарушение расчетных значений весов компонентов при дозировании.

Существующие дозирующие установки в некоторой степени позволяют стабилизировать вес металлозавалки без связи с составом жидкого чугуна, что иногда способствует увеличению отклонений по содержанию кремния.

Установлено, что расчет компонентов металлозавалки, учет угара (кремния, марганца) элементов и переход от расчетного варианта значений компонентов к другому можно совместить в единый процесс. На основе нового метода решения систем уравнений в области положительных значений искомых переменных в увязке с уточненным расчетом ваграночной металлозавалки при использовании динамического программирования создана теория дозирования компонентов ваграночной металлозавалки, которая позволяет обеспечивать заданный вес металлозавалки при стабильном составе жидкого чугуна. В настоящее время названная теория дозирования компонентов ваграночной металлозавалки принята для разработки автоматической системы управления шихтоприготовлением.

5.3. Стабилизация свойств формовочной смеси в цехах крупносерийного производства

Отработанная смесь в многономенклатурных литейных цехах в зависимости от номенклатуры отливок поступает к смесителям со значительными колебаниями по влажности и содержанию глинистой составляющей. При стабильных добавках освежения в виде глинистой суспензии получают формовочную смесь с большими отклонениями по содержанию глины и влаги, что значительно отражается на сырой прочности смеси. В зависимости от колебания свойств формовочной смеси до 25% полуформ изготавливаются бракованными, тем самым снижаются производительность труда формовщиков и другие показатели производства.

Используя новый метод решения систем уравнений в области положительных значений искомых переменных и результаты исследований по определению значений содержания влаги и глины в отработанной смеси, полученной от различных отливок, разработали математическую модель производства формовочной смеси, методику дифференцированного учета содержания влаги, глины, песка и мазута в отработанной смеси, что позволило обеспечить высокую стабильность состава формовочной смеси и повысить производительность труда формовщиков.

5.4. Выбор оптимального состава металлозавалки при переплаве на серый чугун

Разработана математическая модель состава металлозавалки с учетом стоимости отдельных компонентов, которая выражается системой линейных уравнений. Применяя новый метод решения систем уравнений к математической модели

состава металлозавалки при графическом построении области возможных сплавов и их стоимости, в диссертации показана возможность определения значений отдельных компонентов, обеспечивающих оптимальный состав металлозавалки. При использовании методики выбора оптимального состава ваграночной металлозавалки представляется возможным рациональнее использовать различные компоненты, снижая себестоимость отливок и повышая эффективность производства.

5.5. Повышение эффективности использования оборудования и стабильности качества продукции

Разработана математическая модель загрузки оборудования одного, двух, трех и более отделений литейного цеха в оптимальных условиях, которая выражается системой линейных уравнений, удовлетворяющейся множеством вариантов положительных значений известных величин. Под известными величинами подразумеваются отливки с конкретно характеризующими их параметрами (металлоемкость, смесеемкость и т. д.). На основе нового метода решения обратных систем линейных уравнений разработана и в диссертации описана методика выбора вариантов отливок для изготовления, обеспечивающих оптимальную загрузку оборудования одного, двух или нескольких отделений литейного цеха. При использовании в производственных условиях методики для выбора вариантов отливок на изготовление представляется возможным управлять производственным процессом в оптимальных (заданных) условиях, а также составить календарный план изготовления отливок, отвечающий прогрессивным формам организации производства при высоких технико-экономических показателях.

Глава 6

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ТРАКТОРНОГО ЗАВОДА

6.1. Использование низкокремнистых и передельных чугунов в ваграночной металлозавалке

В начале 60-х годов в условиях Волгоградского тракторного завода было показано, что в ваграночной металлозавалке можно использовать низкокремнистые и передельные чугуны до 40%. При использовании уточненного метода расчета компонентов металлозавалки обеспечивалась высокая стабильность состава жидкого чугуна. Применение низкокрем-

нистых и передельных чугунов в ваграночной металлозавалке увеличивает и стабилизирует механические свойства в отливках и снижает их себестоимость. В настоящее время Госпланом СССР дано указание всем Министерством при выплавке ваграночных чугунов использовать передельные чугуны взамен литейных.

6.2. Использование ферросплавов при выплавке ваграночного чугуна

Применение низкокремнистых и передельных чугунов при ваграночном переплаве потребовало увеличения доли кремнистых ферросплавов в металлозавалке. Уточненная методика расчета компонентов ваграночной металлозавалки позволила получать стабильным состав чугуна при использовании в ваграночной металлозавалке любых ферросплавов. В условиях чугунолитейного цеха Волгоградского тракторного завода было доказано, что в ваграночной металлозавалке при замене доменных кремнесодержащих ферросплавов электротермическими стабильность кремния в чугуне не нарушается, а качество чугунных отливок возрастает и несколько увеличиваются механические свойства чугуна. Было установлено, что высококремнистые ферросплавы в ваграночной металлозавалке экономически целесообразнее использовать тогда, когда процент кремния в чугуне, восполняемый ферросплавом, достаточно высок. Также было установлено, что использование в ваграночной металлозавалке высокомарганцовистых ферросплавов для восполнения незначительных количеств марганца в чугуне практически нецелесообразно. Было доказано, что применение некоторыми литейными цехами в ваграночной металлозавалке марганцевой руды практически ничем не обосновано.

Госплан СССР настоятельно просит Министерства увеличить в балансе ваграночных металлозавалок долю высококремнистых ферросплавов. Большинство заводов страны отказались от использования марганцевой руды в ваграночной металлозавалке.

6.3. Использование плавильных агрегатов при многоменклатурном производстве отливок

На тракторных заводах страны мощность плавильных агрегатов (вагранки, электропечи) используется повседневно (в среднем) от 50 до 75%. Особенно для ваграночного переплава использовать вагранки в пределах 50—75% их проектной мощности как технически, так и экономически очень нецелесообразно.

Используя новый метод решения систем уравнений в области положительных значений искомым переменных, разработали методику выбора вариантов отливок на изготовление, которая позволяет использовать целое число плавильных агрегатов при 100% их загрузке.

Для рационального использования плавильных агрегатов и получения качественных отливок на расчетный период составляется календарный график изготовления отливок, который позволяет обеспечить ритмичную поставку литых заготовок механическим цехам и оптимальные условия для ваграночного переплава.

6.4. Групповой метод при производстве отливок в многономенклатурных цехах

На Волгоградском тракторном заводе в чугунолитейном цехе все отливки заливали чугуном марки СЧ18-36, содержащим в жидком чугуне в среднем 2,35% кремния. Все отливки разбили на две группы. В одну группу отнесли отливки толстостенные, несклонные к «отбелу», в другой группе сосредоточили отливки тонкостенные, склонные к «отбелу».

При производстве отливки одной группы не смешивали с отливками другой группы. Для отливок первой группы стали выплавлять чугун, содержащий кремния на 0,2% меньше, а для отливок второй группы содержание кремния оставили на прежнем уровне.

Используя новый метод решения систем уравнений в области возможных положительных значений искомым переменных, произвели выбор вариантов отливок на изготовление по группам в оптимальных условиях загрузки плавильных агрегатов. Разработка и внедрение группового метода производства отливок позволили повысить прочностные свойства в отливках, особенно в группе тонкостенных, и обеспечить значительную экономию ферросплавов.

6.5. Комплексное повышение эффективности использования литейного оборудования

В литейных цехах Волгоградского тракторного завода были проанализированы все параметры, входящие в математическую модель крупносерийного производства литых заготовок. С целью обеспечения высокой и стабильной выработки все отливки закреплены по литейным конвейерам, большинство отливок при изготовлении закреплены за определенными машинами и бригадами формовщиков. В стержневом отделении изготовление отдельных видов стержней в зависимости от производственных навыков закреплено за конкрет-

ными стерженщиками. Бригады для каждой пары формовочных машин подобраны, исходя из трудовых и производственных навыков, где количество сборщиков форм на каждом литейном конвейере принимается дифференцированно в зависимости от трудоемкости сборочных работ (номенклатуры формуемых отливок). Для обеспечения более высокой достоверности результатов производства (потребность во всех видах материалов, оборудования, людей и т. д.) были пересмотрены нормы выработки в формовочном и стержневом отделениях (увеличились нормы по отдельным видам от 7 до 30%), что позволило приблизить фактическую выработку к планируемой и получить более достоверные данные по загрузке технологического оборудования смежных отделений и рациональному управлению производственным процессом.

Используя графо-аналитический метод решения систем линейных уравнений, были решены группы задач:

- оптимальное использование рецептурных смесей (металлозавалки, формовочные смеси, загрузка сушил и т. д.);
- оптимальное распределение загрузки при заданной номенклатуре отливок и размерах выпуска на минимальную себестоимость;

- задачи типа транспортных (при выборе наиболее выгодных вариантов раскрепления отливок за оборудованием и т. д.);

- оптимальное распределение стержневого оборудования при заданной комплектности стержней.

Решение математической модели крупносерийного производства отливок в условиях литейных цехов Волгоградского тракторного завода позволило разработать календарные графики запуска отливок на изготовление в оптимальных условиях производства. Результаты внедрения указанных мероприятий на Волгоградском тракторном заводе позволили повысить качество отливок и обеспечить экономию в несколько миллионов рублей (приказы по литейным цехам № 1432 от I.X.71 г., № 533 от 10.XI.70 г., № 1169 от 18.XII.72 г., акты от 10.XII.71 г. на сумму 1 027 293 руб., от 17.I.74 г. на сумму 85 678 руб., от 30.III.75 г. на сумму 454 848 руб.).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов производственной деятельности литейных цехов шести тракторных заводов страны (крупносерийное производство) показал, что:

— качество, состав и прочностные свойства формовочных, стержневых смесей и чугунов в отливках колеблется в широких пределах (от 60 до 150% от номинального);

— имеют место большие потери шихтовых (кокс, огнеупоры, ферросплавы и др.), формовочных и стержневых материалов (от 100 до 150% от нормативного);

— большой комплекс литейного оборудования (вагранки, литейные конвейеры, смесеприготовительное оборудование, сушила, стержневое оборудование и т. д.) используется неэффективно (наблюдаются простои, недоиспользование мощностей оборудования, расход топлива, огнеупоров, электроэнергии на холостом ходу и т. д.);

— большие потери труда производственных рабочих (формовщики, стерженщики, земледельцы, вагранщики и т. д.) происходят из-за низкого качества продукта труда, т. е. нестабильности свойств смесей и металла;

— отсутствие математических методов для решения многих экономико-математических задач литейного производства не позволяет обеспечить оптимальный ход производственного процесса.

2. В диссертации на основе исследований разработана система локальных математических моделей производства отливок для многономенклатурных крупносерийных литейных цехов, позволяющая оптимизировать:

— загрузку оборудования аппаратурных процессов (плавильные, смесеприготовительные агрегаты, сушила, термические печи и т. д.);

— распределение загрузки по оборудованию (литейные конвейеры, формовочные и стержневые машины и т. д.);

— распределение загрузки по стержневому оборудованию по критерию максимального выпуска при строгом соблюдении комплектности стержней к многостержневым отливкам;

— использование рабочего времени производственных рабочих;

— рецептуру металлозавалки, формовочных и стержневых смесей для аппаратурных процессов.

3. Разработан новый метод решения систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных, позволяющий оптимизировать производственный процесс путем решения системы локальных математических моделей производства отливок.

4. Для ускорения вычислительных работ по оптимизации

производственного процесса на основе нового метода решения систем уравнений созданы три вычислительных устройства, которые защищены авторскими свидетельствами.

5. Разработаны основы динамики многономенклатурного производственного процесса в оптимальных условиях, т. е. создана теория выбора вариантов изготавливаемых отливок, обеспечивающая в соответствии с системой локальных математических моделей оптимальную загрузку большого комплекса оборудования цеха.

6. Показана эффективность использования теории расписаний в многономенклатурном производстве отливок. Разработана периодичность расписания в зависимости от соотношения отливок в заданной цеху номенклатуре.

7. Установлена величина минимального задела отливок при многономенклатурном крупносерийном производстве отливок в зависимости от соотношения отливок в номенклатуре.

8. Исследовано влияние состояния (кусковатость, содержание кремния и марганца в компонентах) исходных компонентов металлозавалки при переплаве в вагранке на величину угара кремния и марганца и установлены значения потерь кремния и марганца в каждом компоненте.

9. На основе нового метода решения систем линейных уравнений:

- разработан уточненный метод расчета ваграночной металлозавалки, позволяющий на любых компонентах обеспечивать высокую стабильность состава чугуна;

- разработана теория дозирования компонентов ваграночной металлозавалки, которая позволяет совместить воедино учет потерь контролируемых элементов, расчет величины компонентов и процесс дозирования, обеспечивая требуемую массу металлозавалки и заданный состав чугуна;

- разработана методика дифференцированного расчета величины добавок в формовочную и стержневую смесь, обеспечивающая высокую стабильность ее состава и свойств;

- разработан метод определения оптимального состава металлозавалки для переплава в вагранке;

- разработана методика расчета эффективного использования оборудования и обеспечения стабильности качества продукции во взаимосвязанных отделениях литейного цеха.

10. В результате использования в промышленных условиях нового метода решения систем линейных уравнений применительно к экономико-математическим, технико-организа-

ционными, технологическим задачам многономенклатурного крупносерийного производства отливок:

— в начале 60-х годов на Волгоградском тракторном заводе внедрены низкокремнистые и пердеельные чугуны в ваграночной металлозавалке и доказана технико-экономическая целесообразность их применения. В настоящее время все литейные заводы страны используют низкокремнистые и пердеельные чугуны;

— внедрена и доказана технико-экономическая целесообразность использования электротермического 45%-го ферросилиция взамен доменных ферросплавов, вносимых в ваграночную металлозавалку;

— обеспечение оптимальных условий работы плавильных агрегатов на Волгоградском тракторном заводе позволило увеличить объем выпуска металла, повысить стабильность состава и качество отливок, сократить расход всех видов шихтовых материалов;

— впервые на Волгоградском тракторном заводе в чугунолитейном цехе внедрен групповой метод изготовления отливок, позволивший значительно повысить качество отливок и снизить их себестоимость;

— внедрен метод выбора вариантов отливок на изготовление в многономенклатурных крупносерийных цехах, позволивший оптимизировать производственный процесс и обеспечить комплексное повышение эффективности всего производства при значительной стабилизации качества отливок;

— созданное нами вычислительное устройство для выбора вариантов отливок на изготовление демонстрировалось на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

11. Народнохозяйственная полезность научных разработок, изложенных в диссертации, подтверждается 22 актами промышленности, приказами Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и Волгоградским тракторным заводом и составляет более 10 млн. рублей.

12. Новый метод решения систем линейных уравнений может быть использован для реализации на быстродействующих вычислительных машинах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Карпов П. М. Основы решения систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных графо-аналитическим методом.— В сб.: Литейное производство. Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1972, с. 3—30.

2. Карпов П. М. Графо-аналитический метод решения больших систем линейных уравнений в области положительных значений искомых переменных.— В сб.: Литейное производство. Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1974, с. 47—62.

3. Карпов П. М., Калинин Э. А. Использование графо-аналитического метода для линейного и цельночислового оптимального планирования производства при решении экономико-математических моделей.— В сб.: Литейное производство. Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1972, с. 31—51.

4. Карпов П. М. Решение задач общего вида (модель А) линейного программирования графо-аналитическим методом.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1975, с. 3—16.

5. Карпов П. М. Решение задач по распределению загрузки по оборудованию при заданном ассортименте изделий и размерах выпуска на минимум (максимум) издержек (модель Б) линейного программирования графо-аналитическим методом.— В сб.: Литейное производство. Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1975, с. 16—30.

6. Карпов П. М. Решение транспортных задач (модель В) линейного программирования графо-аналитическим методом.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1975, с. 30—37.

7. Карпов П. М. Решение задач по оптимальному распределению загрузки по оборудованию по критерию максимального выпуска при строгом соблюдении комплексности (модель Г) линейного программирования графо-аналитическим методом.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1975, с. 38—54.

8. Автор. свид. № 158164 (СССР), Устройство для решения системы линейных алгебраических уравнений. Карпов П. М., Бюллетень изобретений, 1963, № 20.

9. Автор. свид. № 273526 (СССР), Устройство для расчета загрузки литейного оборудования. Карпов П. М., Бюллетень изобретений, 1970, № 20.

10. Автор. свид. № 439820 (СССР), Устройство для расчета загрузки литейного оборудования. Карпов П. М., Бюллетень изобретений, 1974, № 10.

11. Карпов П. М., Бидуля П. Н. Окисление компонентов ваграночной шихты в период подогрева. Литейное производство, 1965, № 1, с. 14—15.

12. Карпов П. М., Бидуля П. Н. О некоторых факторах состава и свойства ваграночного чугуна. Литейное производство, 1966, № 8, с. 29—31.

13. Карпов П. М., Бидуля П. Н. Исследование угара расчетных элементов в отдельных компонентах ваграночной шихты. Литейное производство, 1962, № 8, с. 24—26.

14. Карпов П. М., Бидуля П. Н. Уточнение величины угара расчетных элементов при составлении ваграночных шихт. Литейное производство, 1965, № 6, с. 7—8.

15. Карпов П. М., Бидуля П. Н., Плотников Д. Г. Угар марганца при плавке в вагранке. Литейное производство, 1966, № 6, с. 8, 9.

16. Карпов П. М., Бабайцев А. П. Марганцевая руда в ваграночной плавке. Литейное производство, 1967, № 9, с. 37—39.

17. Карпов П. М., Калинин Э. А. Математическая модель производства литых заготовок в цехах крупносерийного производства.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1974, с. 63—69.

18. Карпов П. М., Врублевский С. Ю. Математическая модель формовочной смеси в цехах крупносерийного производства и ее решение.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1974, с. 82—95.

19. Карпов П. М. Определение положительных решений неопределенных систем линейных уравнений графо-аналитическим способом применительно к многовариантным задачам литейного производства.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1965, с. 412—417.

20. Карпов П. М. Применение графо-аналитического метода решения систем уравнений в технологии и планировании литейного производства.— М.: ГОСИНТИ, 1968, № 1—68—87/11.—8 с.

21. Карпов П. М., Калинин Э. А. Графо-аналитический метод решения систем линейных уравнений и его использование для моделирования и оптимизации технологических процессов литейного производства.— В сб.: Статистические методы контроля, моделирования и оптимизации технологических процессов. М.: МЭСИ, 1971, с. 48—50.

22. Карпов П. М., Суворова Л. В. Расчет оптимальных режимов работы производственных участков многономенклатурного литейного цеха с применением электронно-вычислительных машин.— В сб.: Технология машиностроения, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1971, с. 374—380.

23. Карпов П. М. Приближенный расчет металлических шихт графо-аналитическим способом. Литейное производство, 1962, № 10, с. 39—40.

24. Карпов П. М., Антонов М. М., Васильченко И. А. Составление шихты для выплавки чугунов с учетом угара расчетных элементов каждой составляющей.— М.: ГОСИНТИ, 1963, № 1—63/17/2.—с. 3.

25. Карпов П. М., Калинин Э. А. К вопросу дозирования компонентов ваграночной металлозавалки.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1970, с. 192—198.

26. Карпов П. М. Дозирование ваграночных шихтовых материалов с использованием счетно-решающих устройств. Литейное производство, 1966, № 2, с. 6—7.

27. Карпов П. М. Графо-аналитический метод оперативного планирования производства литых чугунных деталей.— М.: ГОСИНТИ, 1966, № 15—66 — 1194/23.— 9 с.

28. Карпов П. М., Калинин Э. А., Врублевский С. Ю. Графический метод определения потребности в жидком металле и формовочной смеси при оперативном планировании крупносерийного производства. Литейное производство. М.: НИИМАШ, 1967, вып. 4, с. 25—28.

29. Карпов П. М., Калинин Э. А. Проблемы совершенствования организации управления и технологической дисциплины в литейных цехах массового производства.— В сб.: Литейное производство, Научные труды (ВПИ).— Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1970, с. 53—74.

30. Карпов П. М., Бидуля П. Н. Применение низкремнистых литейных чугунов в вагранке. Литейное производство, 1963, № 5, с. 3—5.