

5.16.05

154

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола

На правах рукописи

Хайдуков Иван Филиппович

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ НА АГРЕГАТАХ
С ПИЛITРИМОВЫМИ СТАНАМИ

Специальность 05.16.05. -
"Обработка металлов давлением"

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Челябинск - 1977

Читательный зал
«Профессиональный»

Работа выполнена в Уральском научно-исследовательском институте трубной промышленности (г. Челябинск).

Научный руководитель –
старший научный сотрудник, кандидат технических наук
В.В. ЕРИКЛИНЦЕВ.

Официальные оппоненты:
профессор, доктор технических наук В.И. СОКОЛОВСКИЙ,
доцент, кандидат технических наук В.П. ПОЛЬСКИЙ.

Ведущее предприятие – Челябинский трубопрокатный завод.

Захита диссертации состоится "1" часа 1977 года
в 15 часов, на заседании специализированного совета К-597/3 по
присуждению ученой степени кандидата технических наук в Челябин-
ском политехническом институте им. Ленинского комсомола.

Отзывы в 2-х экземплярах просим направлять по адресу:
454044, Челябинск, 44, пр. Ленина, 76, ЧПИ, ученому секретарю спе-
циализированного совета К-597/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского
политехнического института им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан "26" апреля 1977 года.

Ученый секретарь специализи-
рованного совета К-597/3,
доцент, кандидат технических
наук

(О.К. ТОКОВОЙ)

Ольга Токова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из основных задач, поставленных XXV съездом КПСС, является: "Более полное использование действующего оборудования, уже созданных производственных мощностей..." Эта задача в полной мере относится и к трубопрокатным агрегатам (ТПА) с пилигримовыми станами, на которых производится свыше 25% горячекатаных бесшовных труб, выпускаемых в СССР.

Процесс производства труб на ТПА с пилигримовыми станами характеризуется высоким удельным расходом металла, многостадийностью нагрева и деформации металла, многовариантностью технологических схем. От выбора варианта ведения технологического процесса зависят все основные технико-экономические показатели работы агрегата (производительность, расход металла, себестоимость продукции и другие).

Вопрос о выборе наилучшего (оптимального) варианта технологии может быть решен лишь с применением методов исследования операций, в основе которых лежит поиск экстремальных решений с помощью математической модели.

В настоящее время на ТПА с пилигримовыми станами вопросы построения технологии с применением названных методов решений не имеют, отсутствует математическая модель процесса, описывающая взаимосвязь всех технологических операций и параметров ведения процесса с показателями работы агрегата.

Цель работы. Повышение эффективности производства труб на ТПА с пилигримовыми станами (снижение расхода металла, повышение производительности и снижение себестоимости продукции) путем оптимизации и совершенствования технологического процесса на основе применения методов исследования операций.

Научная новизна.

- Для ТПА с пилигримовыми станами, работающими в СССР, впервые разработана единая математическая модель оптимизации, описывающая взаимосвязь всех технологических операций и параметров ведения процесса с технико-экономическими показателями работы агрегата.

- Разработана новая методика построения таблиц прокатки, обеспечивающих изготовление каждого типоразмера труб с минимальной себестоимостью, либо с максимальной производительностью, либо с минимальным расходом металла (методика построения оптимальных таблиц прокатки).

- Впервые с позиций унификации решена задача определения оптимального сортамента исходных заготовок и технологического инструмента для выполнения производственной программы.

- Разработана и проверена в промышленных условиях новая технология прокатки труб с дифференцированием величин обжатия по диаметру гильзы в функции толщины стенки прокатываемой трубы.

Практическая ценность. На основе математической модели разработан комплекс алгоритмов и программ для ЭВМ, позволяющий:

- рассчитать оптимальную таблицу прокатки под весь сортамент агрегата;

- рассчитать оптимальный сортамент исходных заготовок и технологического инструмента под заданную производственную программу.

Разработана конструкция пилигримовых валков для прокатки гильз различных диаметров в одном ручье (калиbre).

Реализация работы. По методике, изложенной в работе, определена оптимальная таблица прокатки для ТП 4-6" Таганрогского металлургического завода, на основу которой положена технология с дифференцированием обжатий по диаметру гильзы в функции толщины стенки трубы. Внедрение указанной таблицы прокатки обеспечило снижение расхода металла, повышение производительности и годовой экономический эффект в 260 тыс. рублен.

Комплекс программ по решению задач оптимизации технологического процесса принят к внедрению в АСУП Таганрогского металлургического завода и эксплуатируется Уральским научно-исследовательским трубным институтом в научно-исследовательских целях.

Апробация работы. Основные материалы диссертации доложены на научно-технических конференциях, семинарах, совещаниях (Всесоюзных, отраслевых, областных) и заседаниях учёных советов и кафедр институтов (УралНИТИ, ЧИИ, УПИ, ВЭМИ).

Публикации по работе. Основное содержание работы опубликовано в 5 статьях и 2-х авторских свидетельствах.

Объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка литературы на 82 наименования и приложений на 39 страницах, изложена на 162 страницах, в том числе 20 таблиц, 17 рисунков.

Методика выполнения работы:* Методологической основой выполнения работы служит теория исследования операций. Особенности и порядок выполнения работы видны из рис.1.

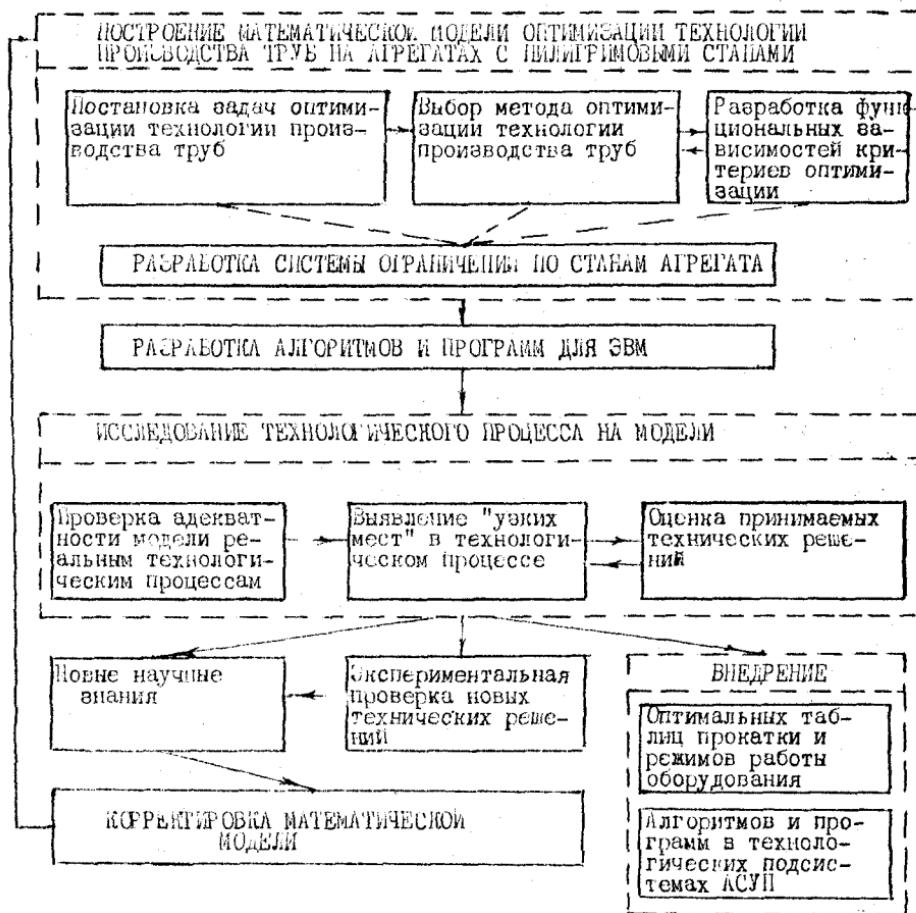


Рис.1. Структура диссертационной работы

*Работа выполнена в лаборатории технологических основ АСУП УральПИТИ под научным руководством старшего научного сотрудника, к.т.н. В.Д.Бриклианцева и старшего научного сотрудника, к.т.н.Д.С.Грицмана

Инструментом исследователя при таком подходе служит математическая модель, реализованная на ЭВМ, позволяющим выявить "укие места" и наиболее рациональные пути совершенствования технологического процесса с предварительной оценкой принимаемых технических решений.

Выработанные рекомендации, как и при любом другом методе исследований, проверяются в промышленных условиях, после чего принимается решение о их внедрении.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

К математической модели предъявляли требования адекватности любому из действующих в Советском Союзе агрегату с пилигримовыми станами. В ней описана зависимость технико-экономических показателей работы агрегата от распределения деформации дифференцированно по каждому типоразмеру труб сортамента.

Основными элементами моделирования являются:

- постановка решаемых задач, выбор и обоснование метода оптимизации;
- выбор и разработка функциональных зависимостей критериев оптимизации;
- построение системы ограничений, определяющей области возможных деформаций по станам агрегата.

Постановка задач

Задача 1. Построение оптимальной таблицы прокатки под заданный сортамент.

Задан трубопрокатный агрегат, для которого известны: технологическая схема (состав оборудования), сортамент готовых труб / D_k , S_k , L_k /, диапазон возможных размеров исходной заготовки / D_o , S_o , L_o / и технологического инструмента / $K_{11}, K_{12}, \dots, K_{if}$ /, характеризующегося калибровкой - K_{if} .

Требуется рассчитать таблицу прокатки, в которой для каждого i -го размера труб необходимо определить величину суммарной деформации $M_{xi} / \Delta D_{xi}, \Delta S_{xi} /$, распределить ее между станами $M_{xi} / \Delta D_{xi}, \Delta S_{xi} / = \sum_i M_{xi} / \Delta D_{xi}, \Delta S_{xi} /$, рассчитать режимы работы и настройки станов таким образом, чтобы при производстве каждого i -го размера труб достичь максимальной эффективности работы ТПА по заданному критерию оптимизации.

Параметрами, которыми можно варьировать (управлять), являются обжатие раската по диаметру - ΔD , и по стенке - ΔS , а также начальные размеры исходной заготовки диаметр - D_0 , стенка - S_0 , длина - L , и режимы настройки станов.

На практике всегда возникает вопрос по определению оптимальных значений числа, размеров исходных заготовок и технологического инструмента, входящих в таблицу прокатки. Ответ на этот вопрос может быть получен при решении одной из следующих задач:

Задача I. Построение таблицы прокатки под заданную производственную программу с ограничением по числу исходных заготовок и технологического инструмента.

Задача II. Построение таблицы прокатки при заданной производственной программе с поиском минимального числа размеров исходных заготовок и технологического инструмента (задача унификации).

Поставленные задачи позволяют решить комплекс вопросов:

- определить суммарную величину деформации при производстве каждого \varnothing -го размера трубы (размер исходной заготовки под каждый \varnothing -ий размер трубы);
- распределить найденную суммарную деформацию между станами ТПА для каждого \varnothing -го размера трубы;
- определить режимы работы и настройки станов при производстве каждого \varnothing -го размера труб;
- определить сортамент труб, прокатываемых из заготовки \varnothing -го размера;
- построить оптимальную таблицу прокатки под весь заданный сортамент ТПА;
- выбрать число и размеры (сортамент) исходных заготовок под заданную производственную программу (унификация размеров исходной заготовки);
- выбрать число и размеры (сортамент) технологического инструмента под заданную производственную программу (унификация размеров технологического инструмента);
- рассчитать основные технико-экономические показатели дифференцированию по типоразмерам труб, работы ТПА в целом;
- определить потребность времени и металла для выполнения производственной программы в зависимости от варианта таблицы прокатки;
- определить производственную мощность ТПА в зависимости от варианта таблицы прокатки;
- создать основу математического обеспечения технологических подсистем АСУП для цехов с пилотными становами.

Обоснование метода оптимизации

Практическое применение математических методов при решении экстремальных задач в трубном производстве показано в работах В.Ф.Шевакина, А.М.Рытикова, В.В.Ериклинова, Д.С.Фридмана, А.М.Вайнштейна, В.М.Фридмана и других.

Как показал опыт решения задач большой размерности для процессов с дискретной технологией производства и формализацией, не охватывающей весь процесс в единых функциональных зависимостях, наилучшим образом зарекомендовал себя метод динамического программирования. На основе проведенного анализа ранее решенных задач распределения деформации в качестве метода поиска оптимума в поставленных задачах приняли метод динамического программирования (ДП). Построение таблиц прокатки в отличие от традиционного метода осуществили по ходу технологического процесса с применением принципа прямого алгоритма ДП.

Критерии оптимизации

Основные требования к функциональной зависимости критерия оптимизации в том, что она должна выражать взаимосвязь параметров управления и состояния на всех стадиях производства, быть чувствительной к их изменению. Определяющими показателями работы агрегата являются его производительность, расход металла и себестоимость продукции. В наших задачах представляют интерес все названные показатели. Поэтому в качестве критериев оптимизации приняли максимум производительности, минимум расхода металла и минимум затрат. Кроме названных критериев с целью исследования и сопоставления в работе рассмотрели критерии оптимизации минимум такта "узкого места" и максимум длины готовой трубы.

Система ограничений

При построении системы ограничений основным вопросом является описание области возможных деформаций на каждом стане.

Система ограничений для агрегатов с пилигримовыми становами учитывает: конструктивные особенности станов; допустимые силовые и kinематические характеристики ведения процесса деформации на каждом стане; физико-механические свойства деформируемого металла; факторы, обеспечивающие получение качественного раската.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ НА ТПА С ПИЛИГРИМОВЫМИ СТАНАМИ

На основе математической модели оптимизации разработан комплекс алгоритмов и программ, позволяющих:

- исследовать процесс с помощью математической модели и ЭВМ;
- решить поставленные задачи оптимизации технологического процесса;
- сооздать основу математического обеспечения технологических подсистем АСУН для цехов с пилигримовыми станами.

В этом комплексе основным является алгоритм построения оптимальных таблиц прокатки. Последний предусматривает последовательное формирование таблиц прокатки для каждого стана агрегата.

Основные особенности решаемых задач в следующем:

- алгоритмами предусмотрена возможность исключения из вычислительной процедуры прошивного пресса, подогревательной печи, прошивного стана и печи подогрева труб перед калибровкой; это позволяет осуществлять расчеты для любого действующего в Советском Союзе ТПА с пилигримовыми станами;
- в алгоритмах предусмотрено осуществление расчетов одновременно для всего поля начальных состояний (исходных заготовок) и конечных (сортамент ТПА), что позволяет за одну вычислительную процедуру построить таблицу прокатки под весь сортамент ТПА;
- оптимизация может проводиться параллельно по нескольким критериям одновременно (максимально по 5-ти выделенным критериям), в результате чего за один вычислительную процедуру получаем несколько вариантов таблиц прокатки;
- оптимизация может производиться последовательно по нескольким критериям (максимально по 5-ти), для чего вводится приоритет критериев;
- раскрой труб может быть задан на мерные краты с попутчиками немерной длины, на мерные краты с выбросом оставшейся части в обрезь и вариант раскроя может выбираться из двух названных по минимуму потерю металла.

Комплекс алгоритмов представляет собой набор отдельных блоков-подпрограмм, что упрощает его корректировку с появлением новых научных знаний по отдельным вопросам, а также проверку эффективности различных схем компоновки технологического оборудования.

При решении задачи о построении таблицы прокатки с ограниченным числом размеров исходных заготовок и технологического инструмента в общем случае решений может быть столько, сколько сочетаний обрауется по m_j из N_j (N_j - общее число размеров, допущенных к рассмотрению; m_j - число размеров, допущенных для реальной таблицы ТИА).

Унификацию производили по длине, наружному и внутреннему диаметру исходных заготовок, по среднему диаметру матриц и оправок прошивного пресса, по среднему диаметру дорна и по размерам калибров пилигримового стана (всего по 9-ти массивам). Число m_j и N_j для каждого j -го массива имеет свое значение.

Решение этих задач позволяет дополнительно определить:

- производственную мощность ТИА при заданной производственной программе и при различных условиях по сортаменту исходных заготовок и технологического инструмента;
- потребность времени и металла на выполнение производственной программы для любой рассчитанной таблицы прокатки;
- технико-экономические показатели работы ТИА.

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На основе разработанного комплекса алгоритмов и программ на ЭВМ осуществили исследование как самой математической модели (ее адекватность, надежность, устойчивость), так и оптимизируемого посредством этой модели технологического процесса производства труб на ТИА с пилигримовыми станами.

Так, проверка влияния критерия оптимизации на выбор варианта распределения деформации и показатели работы ТИА показала, что все критерии дают отличающиеся варианты решения. Следует отметить, что критерий минимум толка "узкого места" выбирает вариант распределения деформации худший по производительности, нежели критерий максимума производительности. Пример расчетов показан в таблице 1.

В процессе исследований выявлено, что при расчетах получается большое количество равносильных вариантов решений. Для выбора единственного варианта ввели приоритет критериев, т.е. последовательную оценку по нескольким критериям оптимизации.

Следующим вопросом исследований являлся вопрос влияния критерия оптимизации на показатели работы ТИА и построение таблицы прокатки. Расчеты с критерием минимума расхода металла показали, что для заданного размера трубы и исходной заготовки перераспределение

деформации осуществляется в сторону загрузки прошивного пресса и стана. Это объясняется снижением веса пилигримовой головки при уменьшении диаметра гильзы. Если размер заготовки выбирается, то с ростом ее развеса происходит нагружение пилигримового стана, т.е. появляется альтернатива в выборе величины деформации на всех станах.

Таблица 1.

Влияние критерия оптимизации на показатели работы ТПА
(пример прокатки труб 114x14 на ТПА 4-6")

Показатели работы ТПА	Критерии оптимизации				
	максимум производительности	минимум расхода металла	минимум затрат	минимум "узкого места"	максимум длины трубы
Производительность, т/ч	56,631	54,289	56,631	55,399	53,952
Расход металла, т/т	1,148	1,138	1,148	1,215	1,138
Затраты, руб/т	97,833	99,125	97,833	100,097	99,238
Такт работы агрегата, с	73,328	79,960	73,328	72,304	80,458
Длина труб, метр	34,853	35,176	34,853	32,725	35,189

При расчетах с критерием оптимизации максимум производительности выбирается вариант распределения деформации с увеличением обжатия на пилигримовом стане до некоторой оптимальной величины, соответствующей оптимуму коэффициента вытяжки. Пример расчета приводится на рис.2.

ПРОДУКЦИОННЫЙ СТАНКИ ПАЛИГРИНО - РЕДУКЦИОННЫЙ СТАНКИ

ДИАМЕТР ГИЛЬЗЫ, ОБЪЕКТИВ ГИЛЬЗЫ
мм

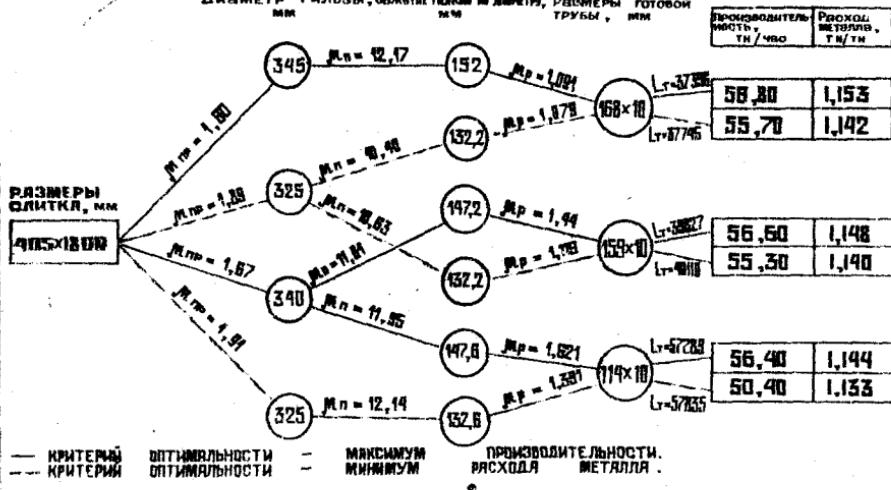


Рис.2. Маршруты распределения деформации в зависимости от критерия оптимизации

Показатели по расходу металла и производительности в вариантах решений, полученных с критерием максимум производительности для тонкостенных труб, незначительно отличаются от вариантов, полученных при критерии минимума расхода металла, а с увеличением толщины стени трубы это отличие достигает 10-15%. Из сказанного следует, что улучшение показателей работы ТИА по расходу металла иногда приводит к снижению производительности. Решение вопроса о выборе варианта таблицы прокатки из полученных по различным критериям оптимизации, необходимо осуществлять при решении задач II и III, учитывающих выполнение заданной производственной программы и основных технико-экономических показателей работы ТИА.

Решение технологических задач на основе выполненных разработок

На математической модели осуществили варьирование величиной обжатия на пилигримовом стане и проверили его влияние на распределение деформации между станами и показатели работы ТИА. Расчеты показали, что величина обжатия растет с увеличением толщины стани и прокатываемой трубы. Влияние величины обжатия на производительность ТИА показано в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние распределения деформации между станами на производительность ТПА

Исходные данные	Расчетные значения					
	номин. размер трубы, мм	диапазон обжатий на пиль-герстене, мм	прошивной стан		пилигримовый стан	
			обжатие по диаметру, мм	коэффициент вытяжки	обжатие по диаметру, мм	коэффициент вытяжки
165x7	122-130	67,6	1,971	125,0	12,390	42,660
	122-170	82,4	2,063	130,0	13,031	43,198
168x14	122-130	67,6	1,757	127,2	7,163	59,133
	122-170	47,4	1,443	167,2	9,947	67,558
159x7	122-130	67,6	1,971	125,0	12,390	42,605
	122-170	82,4	2,063	130,0	13,031	43,002
159x14	122-130	67,6	1,757	127,6	7,278	58,206
	122-170	47,4	1,427	167,6	10,106	67,290
114x8	122-130	67,6	1,855	123,2	11,548	46,417
	122-170	77,4	1,906	158,2	12,68	48,664
114x14	122-130	67,6	1,757	127,8	7,377	58,239
	122-170	47,4	1,427	167,8	10,187	67,287

На основе проведенных исследований делаются выводы:

- обжатие в клети пилигримового стана необходимо повышать с увеличением толщины стенки прокатываемой трубы;
- ограничения по давлениям металла на валки позволяют значительно повышать величину обжатия в клети пилигримового стана с увеличением толщины стенки трубы;
- для построения оптимальных схем прокатки необходимо и возможно дифференцировать величину обжатия по диаметру гильз в функции толщины стенки трубы;
- эффективность оптимизации увеличивается с расширением диапазона варьирования величинами допустимых значений деформации на всех станах ТПА, а принцип дифференцирования обжатий является необходимым условием при разработке оптимальных таблиц прокатки.

Для реализации сделанных выводов было предложено прокатывать трубы с дифференцированием обжатий как за счет изменения наружного диаметра прокатываемых гильз, так и за счет устранения зазора между дорном и гильзой. Технология прокатки труб с дифференцированием

обжатий за счет изменения наружного диаметра гильз проверена в промышленных условиях и показала положительные результаты. Для ее реализации предложено гильзы различных диаметров прокатывать в одном ручье пилигримовых валков. В этом случае на валках между холостым и обжимным участками изготавливается дополнительный функциональный участок – \mathcal{O}_0 (положительное решение по заявке 2004570/02), позволяющий захват и начальную деформацию гильз различного диаметра.

Сущность разработанной технологии в том, что с целью прокатки каждого размера труб с оптимальной величиной суммарной деформации (из оптимального размера заготовки) и с оптимальным распределением этой суммарной деформации между станами (с оптимальным значением коэффициента вытяжки на каждом стане) предложено гильзы различного диаметра прокатывать в одном ручье пилигримовых валков (без смены валков), при этом диаметр гильз назначать в функции толщины стенки трубы с оценкой варианта по заданному критерию оптимизации.

Промышленное опробование описанной технологии проводилось Челябинским трубопрокатным и Таганрогским металлургическим заводами. Примеры из опытных данных приведены в таблицах 3 и 4, которые вполне подтверждают сделанные ранее выводы на основе исследований, осуществленных с помощью ЭВМ.

Технология прокатки с изменением величины обжатий за счет исключения зазора между дорном и гильзой исследовалась с помощью ЭВМ, предложено техническое решение на способ плотной посадки гильзы на дорн путем прошивки заготовки дорном на прошивном прессе (авторское свидетельство 513744). В практических условиях данная технология не опробована и приводится в работе лишь с целью показать возможность исследований и оценки эффективности технологических мероприятий с помощью математической модели до выхода на экспериментальные исследования.

В работе на конкретном примере показаны результаты опробования оптимальной таблицы прокатки в промышленных условиях, рассчитанной по рассмотренной в работе методике с использованием принципа дифференцирования обжатий по диаметру гильзы в функции толщины стенки прокатываемой трубы и способа прокатки гильз различного диаметра в одном ручье пилигримовых валков. Разработанная оптимальная таблица практики в сравнении с существующей обеспечивает снижение расхода металла и повышение производительности, за счет чего достигнуто сокращение себестоимости выпускаемой продукции.

Таблица 3.

Опытные данные по прокатке гильз различного диаметра в одном ручье пилигримовых валков

Средний вес слитка по всаду, кг	Размер гильзы		Коэффициент вытяжки	Среднее машинное время прокатки, с	
	средняя длина, мм	средний наружный диаметр, мм		1 шт.	1 п.м. трубы
для ТИА 4-6"					
1274	3075	320	10,5	155	4,17
"	3003	332	11,8	135	3,78
1449	3451	352	11,8	150	3,73
"	3350	336	12,0	147	3,70
для ТИА 5-6"					
1260	3250	305	12,385	206	5,80
"	2750	320	14,272	188	4,70
1260	3400	305	9,176	156	5,00
"	2600	320	10,574	137	4,40
1250	3050	305	7,363	132	5,90
"	2700	320	8,485	116	5,18

Таблица 4.

Опытные данные по прокатке гильз различного диаметра в одном ручье пилигримовых валков на ТИА 8-16"

Номинальный размер трубы, мм	Вариант I			Вариант II			Результаты		
	диаметр гильзы, мм	расход коэф. металла	время проката 1 п.м. трубой, с	диаметр гильзы, мм	расход коэф. металла	время проката 1 п.м. трубой, с	снижение расхода металла кг/т	снижение машинного времени, %	
377x45	540	1,283	16,19	600	1,245	15,46	38	15,0	
377x56	540	1,186	20,49	600	1,165	18,57	21	9,40	
426x38	600	1,347	не зам.	650	1,305	не зам.	42	не зам.	
426x50	600	1,305	21,89	650	1,276	19,04	29	13,0	
426x60	600	1,356	23,20	650	1,346	20,17	10	13,0	
426x90	600	1,378	не зам.	650	1,315	не зам.	63	не зам.	

ОЧИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Впервые разработана математическая модель оптимизации технологии производства труб на ТПА с пилигримовыми становами, позволяющая описать работу всех станов в их взаимосвязи. Разработана новая методика построения оптимальных таблиц прокатки.

2. На основе математической модели разработан комплекс алгоритмов и программ для ЭВМ, позволяющих:

- рассчитывать оптимальные таблицы прокатки под весь сортамент агрегата;

- рассчитывать таблицу прокатки с определением сортамента исходных заготовок и технологического инструмента под заданную производственную программу (решить задачу унификации);

- определить суммарную величину деформации при производстве каждого Z -го размера труб и распределить ее между становыми оптимальным образом;

- определить режимы работы и настройки станов, основные технико-экономические показатели работы агрегата.

3. Показана эффективность решения поставленных задач с использованием прямого алгоритма ДИ, работы с полем конечных и начальных состояний, многокритериальной сценки вариантов распределения деформации и введение приоритета критерииев.

4. Проведены исследования на математической модели с помощью ЭВМ, в процессе которых обоснована необходимость и эффективность прокатки труб на пилигримовом стане с дифференцированием величин обжатий по диаметру гильзы в функции толщины стенки труб.

5. Разработана технология, обеспечивающая прокатку труб с дифференцированием обжатий, в основе которой лежит способ прокатки гильза различного диаметра в одном ручье пилигримовых валков.

6. Результаты разработок опробованы в промышленных условиях и частично внедрены в производство. Внедрение оптимальной таблицы прокатки, основанной на использовании принципа дифференцирования обжатий, в условиях ТПА 4-6" Таганрогского металлургического завода, дало экономический эффект 260 тыс. рублей.

7. Комплекс разработанных алгоритмов и программ рекомендуется как основа математического обеспечения технологических подсистем АСУП для заводов, эксплуатирующих ТПА с пилигримовыми становами, и для институтов, занимающихся проектированием и исследованием пилигримового процесса производства труб.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.В.Ериклищев, Д.С.Фридман, И.Ф.Хайдуков и др."Математическая модель оптимизации производства труб на пилигримовых установках". Трубное производство Урала, вып.3, Курно-Уральское книжное издательство, г.Челябинск, 1974, с.155.

2. В.В.Ериклищев, Д.С.Фридман, И.Ф.Хайдуков."Определение рациональных обжатий в клети пилигримового стана". Оборудование для прокатного производства, НИИИЗОРМПЛАШ, 1-74-43, И., 1974г., с.39.

3. В.В.Ериклищев, Ю.А.Медников, Д.С.Фридман, И.Ф.Хайдуков, А.В.Сафьянов. "Новая технология производства труб на агрегате с пилигримовым станом". Юбилетень ЦНИИПТИЧИ, № 7, И., 1975г., с.42.

4. В.В.Ериклищев, Д.С.Фридман, И.Ф.Хайдуков, А.В.Никитюк."Минимум расхода металла - критерий оптимальности при разработке и внедрении рациональных технологических схем прокатки горячекатанных труб". Тезисы докладов областной научно-практической конференции, г.Челябинск, 1975г., с.33.

5. В.В.Ериклищев, Д.С.Фридман, И.Ф.Хайдуков и др. "Определение оптимальных таблиц прокатки для установок с пилигримовыми становами". Трубное производство Урала, вып.4, Курно-Уральское книжное издательство, г.Челябинск, 1975г., с.26.

6. Ю.И.Елинов, П.Е.Осипенко, В.В.Ериклищев и др. "Способ пилигримовой прокатки труб". Авторское свидетельство 513744.

7. В.В.Ериклищев, И.Ф.Хайдуков, Д.С.Фридман, А.В.Сафьянов. "Валок пилигримового стана". Положительное решение по заявке 2004570/02(032136).

Материалы диссертации доложены:

- на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Рациональное использование сплитков и металлопроката при производстве труб", г.Челябинск, 1973г;
- на 4-й научно-технической конференции молодых специалистов и учених ЧПБ и УралНИИ, г.Челябинск, 1975г;
- на научно-технической конференции молодых специалистов и учених ЧПБ и УралНИИ, г.Челябинск, 1974г;
- на областной научно-практической конференции "Экономия черных металлов и пути повышения эффективности их применения в народном хозяйстве", г.Челябинск, 1975г;
- на Всесоюзном совещании работников трубной промышленности, г.Днепропетровск, 1975г;

18.

- на семинаре ЧДНТП "Экономико-математические методы планирования и управления", г.Челябинск, 1976г;
- на научно-техническом совете Уральского научно-исследовательского института трубной промышленности (УралНИИ), г.Челябинск, 1976г;
- на заседании кафедры обработки металлов давлением Уральского политехнического института (УПИ), г.Свердловск, 1976г;
- на заседании кафедры технологии и оборудования трубного производства Всесоюзного заочного металлургического института (ВЗМИ), г.Москва, 1977г;
- на заседании кафедры прокатки Челябинского политехнического института (ЧПИ), г.Челябинск, 1977г.