

М 420561

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 ДОМ
ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

КОНСТАНТИНОВ ПАВЕЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

УДК 66.023.23.002.237:658.516.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ АППАРАТОВ

Специальность 08.00.20 — стандартизация и управление
качеством продукции

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1984

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
НИКИТОРОВ А.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
СТЕПАНОВ О.И.
кандидат технических наук
ПЕТРОВ Б.И.

Ведущее пре

Защита
на заседании
ском ордена
Трудового Кр
Н.Э.Баумана
дом 5.

С диссе
Н.Э.Баумана.

Ваш от
направлять

Авторе

Ученый
совета
к.т.н.

Подп. к печ

Л- 83172

Тип. МВТУ им.Н.Э.Баумана, 107005, Москва,
ул. 2-я Бауманская, дом 5.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Характерной задачей развития народного хозяйства на современном этапе является дальнейшее увеличение темпов роста всего материального производства при одновременном повышении качества продукции. Решение поставленной задачи в значительной степени зависит от развития базовых отраслей народного хозяйства таких, как энергетика, металлургия, химия, машиностроение. Одним из путей обеспечения народного хозяйства продукцией базовых отраслей индустрии является создание агрегатов большой единичной мощности, в состав которых входят крупногабаритные аппараты (КГА).

Повышение технического уровня КГА неразрывно связано с повышением качества корпусов аппаратов, параметры стыковых соединений которых определяют стабильность работоспособности конструкций КГА.

До последнего времени отсутствуют обоснованные нормы на параметры стыковых соединений корпусов КГА. Установление и назначение этих норм было передано на произвольное решение изготовителя и основывалось на использовании технологических возможностей предприятий без учета особенностей эксплуатации аппаратов. Поэтому механические свойства корпусов КГА характеризуются нестабильными показателями, что приводит к значительным материальным и трудовым затратам. Кроме того, ошибки, допускаемые при назначении указанных параметров, приводят к необоснованному завышению материалоемкости и трудоемкости конструкций аппаратов.

Цель работы. Целью работы является повышение и поддержание стабильных показателей механических свойств КГА, повышение экономичности конструкций аппаратов за счет создания системы управления качеством КГА, воздействующей на точность параметров стыковых соединений.

Методы исследований. При проведении исследований применены: метод математического моделирования; теория графов; аппарат дифференциального и интегрального исчисления; вариационно-энергетические методы; метод конечных элементов; математический аппарат теории вероятностей и математической статистики; методы регрессионного анализа, планирования эксперимента и решения оптимизационных задач. При исследованиях широко использовались ЭВМ различных типов.



Научная новизна. На основе математического моделирования разработаны математические модели совместной комплексной оптимизации геометрических параметров и допусков стыковых соединений корпусов КГА.

В математические модели оптимизации при совместной оценке рассеивания отклонений рабочих нагрузок и работоспособности с учетом прогнозирования введен коэффициент работоспособности, принятый за основной показатель качества.

Проведена научно-методическая разработка теоретических вопросов технического контроля параметров листовых элементов корпусов КГА.

Разработаны основные положения стандартизации методов составления математических моделей оптимизации.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Разработанные методики оптимизации параметров и допусков стыковых соединений, устройство для измерения длин процесса технического контроля параметров листовых элементов, методы стандартизации позволяют повысить эффективность использования крупногабаритных аппаратов.

На базе основных теоретических положений и практических рекомендаций настоящей диссертации разработаны: ГОСТ 18.101-82 "Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей"; РД.Р1М 26-306-79 "Корпуса негабаритных аппаратов. Технология, оборудование и оснастка"; устройство для измерения длин, защищенное авторским свидетельством. Использование методики оптимизации параметров стыковых соединений корпусов КГА колонного и емкостного типов позволяет снизить суммарные затраты на изготовление аппаратов в среднем на 2,5%. На базе методики рекомендована разработка стандарта "Корпуса аппаратов колонного и емкостного типа. Конструкция и размеры".

Результаты разработок были апробированы и рекомендованы к опытно-промышленному внедрению.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы обеспечения технологичности в машиностроении", г.Брянск,

1980 г., на Отраслевой XIX научно-технической конференции Минхиммаша СССР в 1983 г., на Всесоюзном совещании по проблеме "Управление качеством на базе систем оптимизации", проведенном Госстандартом СССР на ВДНХ в сентябре 1982 г. и на XXXIX научно-технической конференции в МИХМе, г. Москва, 1981 г.

Публикации. По результатам исследований разработан ГОСТ 18.101-82 и опубликовано 6 печатных работ. Конструкция устройства для измерения длин защищена авторским свидетельством.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложения, изложена на 140 страницах машинописного текста и содержит 25 таблиц, 84 рисунка, список литературы на 12 страницах из 130 наименований и приложение на 2 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены конструкции крупногабаритных аппаратов как объекты управления, проведена оценка технического уровня КГА на базе установления и анализа количественных значений показателей работоспособности и экономичности корпусов аппаратов, обоснована и разработана программа управления качеством КГА, проведен обзор и критический анализ литературных и производственных данных по вопросам, связанным с управлением качеством КГА и поставлены задачи исследований.

Независимо от функционального назначения КГА состоят из совокупности разъемных и неразъемных соединений типовых элементов, таких, как обечайки, днища, переходники, различные виды внешних и внутренних устройств. Анализ функциональных структур КГА колонного и емкостного типов показал, что основным носителем механических свойств, определяющих работоспособность и экономичность аппаратов, является корпус, на долю которого приходится в среднем 50-70 % от суммарных затрат, связанных с изготовлением КГА. Корпус состоит из листовых элементов соединенных встык. Стыковые соединения корпусов КГА характеризуются рядом геометрических параметров, устанавливаемых и обеспечиваемых на различных стадиях жизненного цикла КГА. Такие параметры как высота H , диаметр $D_{вн}$ корпуса аппарата ограничивают размеры и протяженность стыковых соединений, определяя тем самым материалоемкость

и трудоемкость конструкций; ширина h и длина L листовых элементов также определяют суммарную длину стыков. Смещение кромок $\Delta_{\text{см}}$, ширина B , высота C и толщина стыка S , радиус R и угол перехода усиления φ_k определяют величину неоднородности напряженного состояния стенки корпуса аппарата, в значительной степени влияющей на работоспособность корпуса. Перечисленные параметры характеризуют материалоемкость и трудоемкость аппарата.

Как показывает анализ, показатели стабильности работоспособности отечественных КГА ниже аналогичных показателей подобных аппаратов в США и Канаде в среднем на 25-30%. Более чем в 20% случаев причиной остановки технологических агрегатов различного функционального назначения являлось разрушение корпусов КГА, приводящее к значительным материальным и трудовым затратам. Выявленные при анализе локализованные места разрушения аппаратов различного функционального назначения в 90% случаев приходится на стыковые соединения.

Стабильность работоспособности аппаратов, работающих под избыточным давлением, определяется правильностью выбора и назначения показателей качества, количественно характеризующих работоспособность конструкции. Работоспособность КГА характеризуется коэффициентом запаса прочности P , стандартные значения которого зависят от температуры стенки корпуса и равнозначно распространяются на всю номенклатуру КГА без учета особенностей эксплуатационных нагрузок, коррозионных сред и влияния отклонений параметров стыковых соединений на работоспособность аппаратов. В результате наблюдается как занижение, так и необоснованное завышение запаса прочности. Назначение завышенного запаса прочности при проектировании КГА приводит к увеличению расчетной толщины стенки корпуса аппарата, что резко снижает экономический показатель качества конструкции за счет роста материальных и трудовых затрат. Экономичность КГА также определяется общей протяженностью стыковых соединений, зависящей от обоснованного выбора ширины и длины листовых элементов корпуса.

В решении вопросов повышения качества корпусов КГА разработана система управления качеством аппаратов. На основе принципов построения Единой системы государственного управления качеством продукции с учетом используемого метода математического модели-

рования разработана программа управления качеством КГА, в соответствии с которой проведен анализ литературных и производственных данных по состоянию поставленного вопроса.

Выявленные в результате анализа принципиальные недостатки в управлении качеством КГА, возросшие потребности в установках большой единичной мощности и отсутствие необходимых литературных данных определили постановку следующих задач исследований:

1. Для обеспечения стабильной работоспособности КГА по механическим свойствам провести функциональный анализ точности с учетом прогнозирования качества стыковых соединений корпусов аппаратов с последующей разработкой математической модели функционирования.

2. С целью повышения экономичности КГА на основе модели функционирования аппаратов разработать комплексную модель оптимизации параметров и точности стыковых соединений корпусов.

3. В целях обеспечения качества КГА разработать систему технического контроля листовых элементов корпусов аппаратов.

4. Для регламентации количественных методов оптимизации параметров изделий различного функционального назначения разработать стандарт, предусматривающий составление базовых математических моделей оптимизации с последующей их конкретизацией в рабочих моделях.

5. Провести апробирование в производственных условиях практических выводов и рекомендаций до получения экономического решения.

Во второй главе проведен функциональный анализ точности стыковых соединений, включающий анализ однородности напряженного состояния стыковых соединений, установление взаимного влияния отклонений параметров стыковых соединений, определение функциональных связей однородности напряженного состояния стыковых соединений и разработку математической модели функционирования.

Стабильность работоспособности стыковых соединений КГА в условиях малоцикловых и повторно-статических нагрузок в присутствии коррозионных сред определяется однородностью напряженного состояния корпусов аппаратов, количественно характеризуемой теоретическим коэффициентом концентрации напряжений в кольцевом

α_0 и меридиональном α_z направлениях. Отсутствие в литературе данных по расчету α_0 и α_z в зависимости от параметров кольцевых стыковых соединений $B; C; S; R; \varphi_k; \Delta_{cm}$ и соотношения главных напряжений σ_z/σ_0 осесимметричных цилиндрических оболочек, предопределило исследования в этом направлении.

При анализе однородности напряженно-деформированного состояния корпуса аппарата в зоне кольцевых стыковых соединений применен вариационно-энергетический метод. Однако полученное уравнение, описывающее условие равновесия зоны стыкового соединения, не поддается аналитическому решению из-за отсутствия зависимостей, описывающих поверхность зоны соединения, и закона изменения перемещений точек в объеме рассматриваемого стыка.

Уравнение, описывающее поверхность зоны стыкового соединения, составлялось моделированием процесса формообразования усиления стыкового соединения при сварке. Принятые упрощающие допущения относительно процесса сварки и происходящих при этом явлений позволяют представить рассматриваемый процесс формообразования усиления как двумерную задачу определения равновесной формы цилиндрической поверхности капиллярной жидкости, находящейся под действием сил поверхностного натяжения в однородном поле массовых сил. Используя вариационно-энергетический метод определения равновесной формы капиллярных поверхностей, получено выражение минимума полной потенциальной энергии системы, имеющее вид

$$\frac{z''(x)}{\{1 + [z'(x)]^2\}^{1,5}} - \frac{z(x)}{a_k^2} - \frac{1}{R_0} = 0, \quad (I)$$

где a_k — капиллярная постоянная межфазной поверхности; R_0 — радиус кривизны раздела фаз в начале системы координат; $z(x)$ — уравнение кривой, описывающей форму стыка в поперечном сечении.

Для численного интегрирования уравнения (I) составлена и реализована на ЭВМ специальная программа WELD. В программе для каждого значения смещения кромок $\Delta_{cm} = 0+5$ мм по заданным значениям a_k и площади наплавленного металла S_0 строится искомое решение при дополнительном условии

$$\int z(x) dx - 0,5 \Delta_{cm} B = S_0. \quad (2)$$

Проверка модели формирования усиления стыковых соединений показала удовлетворительную качественную и количественную схо-

димость расчетных и экспериментальных данных, в соответствии с которыми установлено, что увеличение смещения кромок стыкового соединения приводит к резкому уменьшению радиуса перехода R и увеличению φ_k и C . Для инженерных расчетов получены следующие типовые эмпирические зависимости для определения R , φ_k и C от Δ_{cm} :

$$\begin{aligned} R &= \bar{A}_1 \exp \bar{A}_2 \Delta_{cm}, \\ \varphi_k &= \bar{A}_3 \Delta_{cm}^{a_1} + \bar{A}_4, \\ C &= \bar{A}_5 \Delta_{cm}^{a_2} + \bar{A}_6, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\bar{A}_1, \bar{A}_3$ и a_1, a_2 — эмпирические коэффициенты.

Установление влияния S , Δ_{cm} , R , φ_k , B , C и σ_z/σ_θ на величину α_z и α_θ осуществлялось методом конечных элементов по разработанной в МВТУ им. Н.Э.Баумана программе ABSA с реализацией на ЭВМ ЕС-1060. Возможность использования программы ABSA при проведении вычислительного эксперимента оценивалась путем сопоставления расчетных данных и результатов тензометрирования кольцевых стыковых соединений в сочетании с проверкой на точность решения "тестовых" задач. Вычислительный эксперимент проводился в соответствии с планом полного факторного эксперимента с полурепликой, при этом значения параметров варьировались в следующих пределах: $10 \leq S \leq 60$ мм; $0 \leq \Delta_{cm} \leq 5$ мм; $0,2 \leq R \leq 2$ мм; $30 \leq \varphi_k \leq 90^\circ$; $10 \leq B \leq 50$ мм; $2 \leq C \leq 10$ мм; $0,2 \leq \sigma_z/\sigma_\theta \leq 0,5$. В результате обработки данных вычислительного эксперимента на ЭВМ СМ-4 получены следующие выражения для расчета α_z и α_θ :

$$\alpha_z = 1,29 \left(1 + \frac{\Delta_{cm}}{S}\right)^{2,21} \left(1 + \frac{B}{C}\right)^{0,13} (1+R)^{-0,16} \left(1 + \frac{\varphi_k \pi}{180}\right)^{1,01} \left(1 + \frac{\sigma_z}{\sigma_\theta}\right)^{-0,92}, \quad (4)$$

$$\alpha_\theta = 0,07 \left(1 + \frac{\Delta_{cm}}{S}\right)^{2,62} \left(1 + \frac{B}{C}\right)^{0,56} (1+R)^{-0,13} \left(1 + \frac{\varphi_k \pi}{180}\right)^{1,93}. \quad (5)$$

Для количественной характеристики работоспособности стыковых соединений КГА различного функционального назначения в работе введено понятие коэффициента работоспособности η' , отражающего соответствие нагружения и несущей способности корпусов в стохастической постановке и включающего совместное рассмотрение рассеивания величин рабочих нагрузок и работоспособности аппаратов в зависимости от отклонений физических и геометричес-

ких параметров стыковых соединений

$$\eta' = \frac{\bar{\sigma}_n}{\bar{\sigma}_p} = \frac{1 + \Phi_{osr}^2(p_t) V_{G_n}^2 + \sqrt{4 - 4[\Phi_{osr}^2(p_t) V_{G_n}^2 - 1][\Phi_{osr}^2(p_t) V_{G_p}^2 - 1]}}{2[\Phi_{osr}^2(p_t) V_{G_n}^2 - 1]}, \quad (6)$$

где $\bar{\sigma}_n$ — математическое ожидание напряжения, характеризующего несущую способность корпуса КГА. При повторно-статических и малоцикловых нагрузках $\bar{\sigma}_n$ представляет собой предельную амплитуду напряжений, рассчитанную в работе по методике Н.А.Клыкова с учетом α_z и α_θ ; $\bar{\sigma}_p$ — математическое ожидание эквивалентных рабочих напряжений; V_{G_n} и V_{G_p} — коэффициенты вариации величин σ_n и σ_p ; $\Phi_{osr}(z)$ — обратная табулированная функция Лапласа; P_t — заданная вероятность безотказной работы корпуса КГА.

Третья глава диссертации посвящена оптимизации параметров стыковых соединений, включающей разработку комплекса оптимизации, определение вспомогательных значений к составлению целевой функции, определение и формализацию ограничений на взаимное расположение стыковых соединений аппарата, составление и решение математических моделей оптимизации параметров стыковых соединений корпусов КГА емкостного и колонного типов.

Основными требованиями к результатам оптимизации являются точность, полнота и детализация, зависящие от широты принятых границ комплексности, определяемых совокупностью совместно оптимизируемых параметров стыковых соединений. С учетом установленной номенклатуры переменных параметров стыковых соединений и их взаимного влияния на показатели качества КГА сформирован единый оптимизируемый комплекс, состоящий из совокупности завершенных и незавершенных элементов. Комплекс основан на рассмотрении корпусов КГА как сложной системы и является результатом структурного анализа аппаратов с привлечением системного подхода.

В общем виде целевая функция моделей оптимизации параметров и точности стыковых соединений имеет вид выражения для расчета заводской себестоимости корпуса КГА

$$Ц = Z_m + (1 + A/100) \sum m_k T_k'', \quad (7)$$

где Z_m — затраты на металл корпуса аппарата; m_k — тарифная ставка рабочего, занятого на k -й операции технологического процесса изготовления корпуса КГА; T_k'' — трудоемкость k -ой опе-

рации технологического процесса изготовления корпуса КГА; Δ - процент расходов на эксплуатацию и содержание оборудования, производственных помещений, транспортные операции и т.д., определяемых по отчетным данным завода-изготовителя.

Составлена расчетная зависимость Z_m от величин h_i , L_{ij} и S_i в виде

$$Z_m = \frac{1}{K_m} \gamma_m \sum_{i=1}^N h_i L_{ij} S_i C_{\text{б}} [1 + 0,45(h_i - 2)^{0,66}] - C_{\text{от}} \left(\frac{1}{K_m} - 1 \right) \gamma_m \sum_{i=1}^N h_i L_{ij} S_i, \quad (8)$$

где K_m - коэффициент использования листового проката; γ_m - удельная масса металла; $C_{\text{б}}$ - удельная цена листового проката; $C_{\text{от}}$ - удельная цена неделовых отходов металла; N - общее число листовых элементов в корпусе КГА.

При определении трудоемкости изготовления корпуса аппарата основой послужили: РД.РТМ 26-306-79 "Корпуса негабаритных аппаратов. Технология, оборудование и оснастка", предписывающий типовую номенклатуру и последовательность технологических операций процесса изготовления корпусов КГА; нормативы времени на котельно-заготовительные работы, используемые на передовых машиностроительных заводах Минхиммаша.

При установлении зависимостей трудоемкостей T_k^{TF} от h_i , L_{ij} и S_i проведена математическая обработка укрупненных норм времени технологических операций типового технологического процесса изготовления корпусов КГА с применением множественного регрессионного анализа, реализованного по стандартной программе на ЭВМ СМ-4.

Формализация ограничений на взаимное расположение стыковых соединений корпусов КГА относительно внешних и внутренних приварных устройств проведена с учетом требований ОСТ 26.291-79 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования".

С учетом особенностей емкостной и колонной аппаратуры составлены математические модели оптимизации этих типов КГА, включающие целевую функцию, функциональные ограничения в виде модели функционирования стыковых соединений (6) и областных ограничений на H и $D_{\text{вн}}$, взаимное расположение стыковых соединений, стандартные значения ширины, длины и толщины листового проката. Решение математических моделей оптимизации параметров стыковых соединений корпусов КГА емкостного и колонного типов осуществ-

лялось соответственно методами множителей Лагранжа и динамического программирования, реализованных на ЭВМ по специально разработанным программам.

В четвертой главе проведены анализ фактической точности листовых элементов, оптимизация структуры укладки листовых элементов в сварной карте и разработка методики расчета допусков на геометрические параметры листовых элементов, исходя из условия обеспечения заданных смещения кромок и зазоров под сварку в кольцевых и меридиональных стыковых соединениях корпусов КГА.

С целью установления закона и моментов распределения случайных отклонений геометрических параметров листовых элементов h_i, L_{ij} и диагоналей K_{ij} и определения закономерности изменения отклонений от определяющих их геометрических параметров проведено исследование фактической точности обработки листовых элементов на кромкострогальном станке модели 7806. Измерения h_i, L_{ij}, K_{ij} проводились компенсационной рулеткой с ценой деления шкалы 1 мм и нониусом 0,1 мм.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что распределения отклонений геометрических параметров листовых элементов подчиняются нормальному закону с центром распределения близким к нулю. Получена зависимость среднеквадратического отклонения параметров листовых элементов S_e от линейного размера параметра e , мм

$$S_e = 0,1738 + 2,85 \cdot 10^{-4} e, \text{ мм.} \quad (9)$$

При оптимизации структуры укладки листовых элементов в сварную карту в качестве целевой функции послужило выражение для расчета вероятности $(1-\delta)$ обеспечения сборки корпуса, исходя из обеспечения заданных смещения кромок Δ_{cm} и зазоров под сварку в кольцевом h_z и меридиональном h_e стыковых соединениях

$$(1-\delta) = f[(1-\alpha'); (1-\beta); (1-\gamma')] \Rightarrow \max, \quad (10)$$

где $(1-\gamma')$ - вероятность обеспечения условия $|U_j - U_{j+1}| \leq \pi \Delta_{cm}$; $(1-\alpha')$ - вероятность обеспечения условия $|\Delta_{ij}| \leq h_e$; $(1-\beta)$ - вероятность обеспечения $|\Delta_{ij}| \leq 0,5 h_z$; U_j и U_{j+1} - периметры соответственно j -ой и $j+1$ -ой обечайки; Δ_{ij} - зазор между листовыми элементами в меридиональных стыковых соединениях; Δ_{ij} - отклонение от прямолинейности длинной стороны сварной карты.

С учетом нормального закона распределения отклонений h_i, L_{ij}

и K_{ij} установлены аналитические зависимости $(1 - \alpha')$, $(1 - \beta)$ и $(1 - \gamma')$ от среднеквадратических отклонений σ_h , σ_L и σ_K величин h_i , L_{ij} и K_{ij} .

Установлено, что целевая функция (10) принимает наибольшее значение в случае укладки листовых элементов в сварную карту с выравниванием их вдоль длинной стороны.

Для оптимальной структуры укладки разработана методика расчета допусков на ширину $T_h = 6\sigma_h$, длину $T_L = 6\sigma_L$ и диагонали $T_K = 6\sigma_K$ листовых элементов корпусов КГА; при этом общая вероятность сборки корпуса без подгоночных операций рассчитывалась по формуле

$$(1 - \delta) = (1 - \alpha')^{Mn^*} (1 - \beta)^{2n^*M} (1 - \gamma')^{M-1}, \quad (11)$$

где

$$(1 - \alpha') = \Phi \left(\frac{h_g}{\sqrt{2\sigma_L^2 + 2\left(\frac{h_i}{L_{ij}}\sigma_h\right)^2 + 2\left(\frac{K_{ij}}{L_{ij}}\sigma_K\right)^2}} \right);$$

$$(1 - \beta) = \Phi \left(\frac{h_g}{2\sigma_h} \right);$$

$$(1 - \gamma') = \Phi \left(\frac{\pi \Delta_{cm}}{\sqrt{2n^*\left(1 - \frac{1}{n}\right)\left[\left(\frac{K_{ij}}{L_{ij}}\sigma_K\right)^2 + \left(\frac{h_i}{L_{ij}}\sigma_h\right)^2\right] + n^*\left(1 - \frac{2}{n}\right)\sigma_L^2}} \right);$$

M — количество обечаек в корпусе; n^* — количество листовых элементов в сварной карте.

В пятой главе изложены выбор метода и обоснование процесса технического контроля параметров листовых элементов, конструкция устройства для измерения длин, приведены метрологический анализ и экспериментальные исследования точности средства технического контроля параметров листовых элементов.

Анализ известных в настоящее время методов и средств измерения больших линейных размеров позволил выявить общий недостаток, не позволяющий использовать их при контроле геометрических параметров листовых элементов и сварных карт. Этот недостаток вызван наличием волнистости листовых элементов и карт, допустимая величина которой может достигать 15 мм на 1 пог. м. Не учет волнистости такого порядка при измерении геометрических

параметров листовых элементов приводит к появлению погрешности в пределах одной волны равной около I, II мм. Отмеченное предопределило выбор метода технического контроля параметров листовых элементов — метод обкатывания роликом, широко используемый при измерении диаметров и длин изделий, а также перемещений, рабочих органов станков.

С учетом специфики контролируемых параметров листовых элементов таких, как ширина, длина и диагонали на базе выбранного метода измерения сконструировано и изготовлено средство технического контроля (А.С. № 868305 "Устройство для измерения длин"). Разработанное средство технического контроля геометрических параметров листовых элементов имеет следующие технические характеристики: цена деления шкалы 0,1 мм; диапазон показаний 999,999 м; масса комплекта II кг; контрольная операция осуществляется одним человеком.

Основными источниками возникновения погрешности измерения геометрических параметров листовых элементов методом обкатывания по разработанной схеме являются следующие факторы: погрешность изготовления и износ рабочей поверхности ролика Δ_1 ; биение наружной поверхности ролика Δ_2 ; упругие деформации ролика Δ_3 ; неровности на поверхности измеряемого объекта Δ_4 ; температурные деформации измеряемого объекта и ролика Δ_5 ; неточность установки измерительного ролика Δ_6 ; погрешность показания счетчика оборотов мерительного ролика Δ_7 ; проскальзывание между роликом и измеряемым объектом Δ_8 ; наличие гибкой направляющей Δ_9 ; погрешности начала и конца отсчета Δ_{10} .

Суммарная погрешность измерения Δ_z , учитывающая отдельные доминирующие составляющие погрешности, определялась по формуле

$$\Delta_z = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_{10} \pm \sqrt{\Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_7^2} \quad (12)$$

Целью проведения экспериментальных исследований явилось установление значений силы натяжения гибкой направляющей, силы прижатия ролика к измеряемой поверхности и суммарной предельной погрешности измерения длин разработанным средством технического контроля геометрических параметров листовых элементов. Экспериментальные исследования проводились по разработанной методике в лабораторных условиях на специально спроектированном и изготовленном стенде. В результате проведенного эксперимента установле-

но следующее: при усилии прижатия ролика к измеряемой поверхности более 70 Н полностью исключается погрешность Δ_2 ; при натяжении гибкой направляющей усилием более 160 Н исключается погрешность Δ_3 ; полученная экспериментальным путем величина Δ_2 соответствует допускаемым погрешностям измерения линейных размеров свыше 500 до 10000 мм, выполненных по 12-13 квалитетам точности.

В шестой главе изложены методические основы по составлению математических моделей оптимизации параметров объектов стандартизации (ПОС) и представлен расчет экономической эффективности результатов внедрения.

Непосредственно на эффективность производства, эксплуатации и др. влияет только окончательный результат оптимизации, зависящий от применяемых методов и используемой методологии оптимизации.

Требования к результатам оптимизации следующие: точность, полнота, детальность, своевременность и чувствительность.

Для удовлетворения указанных требований к результатам метода оптимизации должны обеспечивать динамичность (опережаемость) и комплексность оптимизации, проведение оптимизации в условиях неопределенностей, осуществление анализа соответствия принятой математической модели стоящей задаче и широкое внедрение оптимизации в народное хозяйство.

Для удовлетворения требований к методам и результатам оптимизации система оптимизации должна быть целеустремленной, базироваться на объективных понятиях, использовать количественные меры, математическую и логическую обработку данных и ее методология должна объединить с общих позиций значительные области технических и экономических наук, психологии и социологии и обеспечить оптимизацию в условиях больших неопределенностей.

Перечисленные три уровня требований к результатам, методам и методологии оптимизации использованы в разработанном при участии автора ГОСТ 18.101-82 "Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей" в п. 1 (Общие положения) и п. 3 (Общие требования к математическим моделям оптимизации ПОС).

Для эффективного построения и использования систем математических моделей оптимизации ПОС разработана типовая схема,

унифицирующая этапы и работы по составлению математических моделей оптимизации независимо от методической обобщенности, уровня управления, сферы распространения, полноты и детализации оптимизации.

Разработанная блок-схема теоретического метода оптимизации вошла в состав ГОСТ 18.101-82 в п. 2 (Типовая блок-схема теоретического метода оптимизации ПОС).

Расчет экономической эффективности от предложенных и реализованных путей управления качеством КГА проведен в соответствии с ГОСТ 20779-75 "Экономическая эффективность стандартизации. Методы определения. Основные положения".

Суммарный ожидаемый годовой эффект от внедрения результатов разработок настоящей диссертационной работы составляет 850 тыс. рублей в год.

ВЫВОДЫ

1. Дальнейшее повышение технического уровня крупногабаритных аппаратов (КГА) по механическим свойствам с учетом работоспособности и экономичности является комплексной проблемой, зависящей от решения вопросов точности стыковых соединений корпусов. Для повышения технического уровня в зависимости от точности стыковых соединений корпусов разработана система управления качеством КГА с инфраструктурой управления в виде процессов оптимизации параметров стыковых соединений, технического контроля и стандартизации.

2. Стабильность работоспособности корпусов является одним из основных факторов, определяющим технический уровень КГА по механическим свойствам, зависит от рассеивания рабочих нагрузок и свойств стыковых соединений и должна оцениваться коэффициентом работоспособности. Условие стабильности отвечает коэффициент работоспособности для нормированных отклонений геометрических параметров стыковых соединений с вероятностью безотказной работы не ниже 0,999.

3. Прогнозирование качества стыковых соединений корпусов КГА в условиях циклических нагрузок и коррозии уточняет отклонения коэффициента работоспособности от допустимых значений. Коэффициент работоспособности определяется из динамической модели, входящей в состав математической модели оптимизации параметров стыковых соединений.

4. Оптимальные параметры и допуски стыковых соединений корпусов определяются по моделям оптимизации смешанного комплекса и при стабильной работоспособности обеспечивают снижение суммарных затрат на изготовление корпусов аппаратов в среднем на 2,5%.

5. Обеспечение заданных значений смещения кромок и зазоров под сварку меридиональных и кольцевых стыковых соединений корпусов при наименьших затратах достигается оптимизацией допустимых отклонений ширины, длины и диагоналей листовых элементов корпусов, предусматривающей оптимизацию структуры укладки листовых элементов в сварную карту и разработку методики расчета допусков.

6. В системе технического контроля по этапу метрологического обеспечения точности параметров листовых элементов корпусов проведены обоснование и выбор метода измерения (обкатывание роликом), разработка процесса технического контроля и устройства для измерения длин (защищено авторским свидетельством). Метрологический анализ изготовленного устройства показал соответствие метрологических характеристик заданным требованиям точности листовых элементов. Разработки технического контроля прошли опытно-промышленное апробирование и рекомендованы к производственному внедрению.

7. Для повышения роли управляющего воздействия стандартизации на качество корпусов КГА проведены научно-методические разработки нормативно-технической документации и в соавторстве созданы методические основы оптимизации параметров объектов стандартизации, использованные при составлении ГОСТ 18.101-82 "Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей оптимизации".

8. Предложенные и реализованные пути управления качеством по повышению эффективности использования КГА позволяют снизить суммарные затраты на создание и эксплуатацию в среднем на 2,5%, что дает экономический эффект в размере 850 тыс.рублей в год.

Основное содержание диссертации изложено в следующих печатных работах:

И. Никифоров А.Д., Елкин В.З., Константинов П.А. Методика расчета и принципов стандартизации допусков листовых деталей корпу-

сов крупногабаритных химических аппаратов.- Химическое машиностроение.- М.: МИХМ, 1978, вып. 10, с. 116-120.

2. Константинов П.А., Елкин В.З. Уточненный расчет функциональных параметров к обеспечению взаимозаменяемости листовых деталей стыковых соединений.- В кн.: Разработка, исследование и расчет машин и аппаратов химических производств.- М.: МИХМ, 1980, с. 26-30.
3. Константинов П.А., Елкин В.З., Никифоров А.Д. Методика расчета оптимальных параметров и допусков листовых заготовок корпусов крупногабаритных химических аппаратов.- Проблемы обеспечения технологичности конструкций изделий машиностроения: Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. конф.- Брянск, 1980, с. 60-62.
4. Елкин В.З., Константинов П.А. Нормирование параметров и точности листовых заготовок корпусов крупногабаритных аппаратов.- Химическое и нефтяное машиностроение, 1980, № 12, с. 22-23.
5. А.С. 868305 (СССР) . Устройство для измерения длин /А.Д.Никифоров, В.З.Елкин, П.А.Константинов и др. - Заявл. 19.04.79. № 2756868/25-28; Опубл. в Б.И., 1981, № 36.
6. Методика расчета параметров и допусков листовых заготовок крупногабаритных аппаратов /А.Н.Блохин, В.З.Елкин, П.А.Константинов и др.- В кн.: Совершенствование конструкций машин и аппаратов химических производств.- М.: МИХМ, 1982, с. 135-138.
7. ГОСТ 18.101-82. Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей.- М.: Изд-во стандартов, 1982.- 28с.
8. Константинов П.А. Пути повышения надежности крупногабаритной аппаратуры.- Эксплуатация, ремонт, защита от коррозии оборудования и сооружений.- М.: НИИТЭХИМ, 1983, № 6, с. 1-4.

