

М 420549
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 66.023.23.002.237:658.516.3

ЩЕРБАТЫХ ВИКТОР ИЛЬИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИК
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ
(НА ПРИМЕРЕ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ)

06.00.20 - 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

НА ДОМ
ВЫДАЕТСЯ

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
НИКИФОРОВ А.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ШЕВЧЕНКО А.А.,
кандидат технических наук
ПОЗИН Л.С.

Ведущее предприятие: Всесоюзный научно-исследовательский
биотехнический институт

Защита
на заседании
ском ордена
вого Красн
мана по ад

С дис
Н.Э.Бауман

Ваш о
направлять

Авто

Учен
сове
к.т.

Подп. к п

Л- 8312

1984 года
сков-
Трудо-
Э.Бау-
дом.5.

имени

года.

в 100 экз.

Москва,

M 420549

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Высокие темпы развития микробиологической промышленности, рост производительности и повышение качества продукции определили коренную перестройку производства с переходом от машинных комплексов к комплексам из агрегатов большой единичной мощности на базе колонных аппаратов.

Тенденция роста качества продукции отрасли потребовала дальнейшей рационализации конструкций, повышения качества функционирования и точности колонных аппаратов.

Точность является основным свойством функционирования аппаратов, достижение и обеспечение которой вызывает наибольшие трудности и затраты в процессе производства и эксплуатации. Введение экономически неоправданных жестких допусков и подгонка элементов аппаратов приводит к увеличению энерго-, металло- и трудозатрат, простоя дорогостоящего оборудования. Поэтому проблема обеспечения требуемой точности стала закономерным этапом дальнейшего развития исследований колонных аппаратов для микробиологической промышленности.

Анализ показывает, что дальнейшее повышение качества продукции микробиологии зависит от диапазона изменений конструктивно-эксплуатационных параметров и точности контактных устройств аппарата, включающей отклонение от горизонтальности и отклонение от плоскостности.

Оригинальность технологического процесса и конструкции колонных аппаратов микробиологической промышленности исключает прямое распространение ранее полученных результатов научных исследований и имеющихся технических условий на аппараты общего назначения.

В этой связи принципиальное значение имеет научно-методическая разработка теоретических вопросов и изыскание новых путей управления качеством функционирования колонных аппаратов применительно к микробиологической промышленности.

Исследование точности и разработка методик управления качеством функционирования аппаратов для расчета допусков и определения отклонений конструктивно-эксплуатационных параметров является актуальной задачей.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы является исследование и разработка методик управления качеством функционирования колонных аппаратов микробиологической промышленности



и практических рекомендаций для повышения технического уровня этих аппаратов.

Методы исследований. Теоретические и экспериментальные исследования проводились с применением метода математического моделирования, принципов управления качеством продукции на базе научных основ взаимозаменяемости и стандартизации, технологии машиностроения, расчет и конструирование машин и аппаратов отраслевого применения.

Основные результаты работы получены путем анализа математических моделей функционирования и оптимизации функциональных параметров и допусков колонных аппаратов, построенных при моделировании в детерминированной и стохастической постановке.

Для моделирования и анализа использованы элементы теории оптимизации, численного анализа, нелинейного программирования, вероятности и математической статистики, матричного исчисления, ошибок.

Обработка результатов экспериментальных исследований, проверочные расчеты, исследование математических моделей и вопросы оптимизации решались с применением ЭВМ.

Исследования проводились в передовых научно-исследовательских институтах: ВНИИсинтезбелок, ВНИИбиотехника, ВНИИС, ВНИИНМАП, ВНИИНВТЕМАШ, на машиностроительных заводах, монтажных площадках и в цехе опытных установок Щекинского п/о "Азот" Тульской обл. и в МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Научная новизна. В результате выполненных исследований проведен анализ, ориентирующий на выбор рациональной компоновки колонных аппаратов, выявлены закономерности изменения отклонений показателей качества колонн от функциональных параметров и точности. Получены аналитические зависимости и разработаны методики расчета допусков на стадиях производства и эксплуатации.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Созданы варианты рациональной компоновки внутренних устройств колонных аппаратов для микробиологической промышленности. Разработаны методика и опытно-промышленный стенд экспериментальной оптимизации допусков и отклонений конструктивно-эксплуатационных параметров, совместно влияющих на качество функционирования колонных аппаратов. Экспериментальная установка может быть использована при исследовании точности однотипных аппаратов с учетом масштабного перехода. Стандартизация точности предусматривает регламентацию допусков на стадиях производства и эксплуатации колонных аппаратов.

Результаты выполненных исследований были использованы при разработке ГОСТ 18.101-82 "Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей".

Предложенные пути управления качеством функционирования колонных аппаратов в сравнении с действующими в микробиологической промышленности машинными комплексами позволят повысить производительность в 1,5-2 раза, снизить энерго-, материало- и трудозатраты в 1,2-1,5 раза, повысить содержание белка в продукте до 75-80%.

В порядке оказания научно-технической помощи по договору о сотрудничестве заинтересованным предприятиям и организациям передана документация на варианты рациональной технологии и технические условия колонных аппаратов.

Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 100 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научных семинарах кафедры АМ-4 МВТУ им. Н.Э. Баумана, на научно-технических конференциях по проблеме управления качеством продукции, а также в различных научно-исследовательских организациях: ВНИИПТхимнефтеаппаратура, ВНИИсинтезбелок, ВНИИбиотехника, ВНИИС. По просьбе Управления пропаганды и экскурсионного обслуживания ВДНХ СССР было подготовлено сообщение, которое вошло в 40-й каталог магнитофонных записей выступлений специалистов различных отраслей народного хозяйства страны.

Публикации. Результаты выполненных исследований использованы при разработке ГОСТ 18.101-82 и по ним опубликовано 4 печатные работы.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 139 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, выводов. Сопровождается 44 рисунками, 10 таблицами, списком литературы из 110 наименований, 4 приложениями.

В первой главе дано обоснование объекту исследований, приведен обзор и критический анализ литературных и производственных данных по оценке уровня качества тарельчатых колонных аппаратов и намечены основные пути повышения качества функционирования их.

Уровень качества продукции микробиологии оценивается с помощью следующих показателей качества: содержание белка X_k в %, содержание примесей - зольность в %, себестоимость $3(X_k)$.

В настоящее время технологический процесс получения продуктов микробиологической промышленности ведется в машинных комплексах: система ферментеров с механическими перемешивающими устройствами, снабженных обслуживающими их агрегатами, оборудованием и средствами автоматизации производственного процесса. Оценка состояния технического уровня качества машинного комплекса с позиции функционирования проведена посредством анализа функциональной структуры материальной части комплекса на модели в виде графа. Анализ функциональных связей (механических и энергетических) и взаимодействие элементов комплекса с продуктом показывает, что данные агрегаты не способствуют повышению качества и количества выпускаемой продукции. Причинами этого являются неустойчивость температурного режима, наливание биомассы на механические перемешивающие устройства, появление застойных зон, "проскок" неиспользованных питательных веществ среды. К недостаткам машинного комплекса также относятся частые выходы из строя элементов, некомпактность, повышенная металлоемкость, сложность, высокая точность изготовления и монтажа основного и вспомогательного оборудования, высокие энергозатраты.

В соответствии с тенденциями развития народного хозяйства в целях частичного устранения указанных недостатков и интенсификации биотехнологического процесса во ВНИИсинтезбелок и МВТУ им. Н.Э. Баумана при участии автора разработан новый производственный процесс, реализованный в опытно-промышленной установке.

Проведенные исследования (по методу базовой точки) оборудования, использующего подобные технологические процессы, выявили, что всем требованиям получения продуктов биотехнологии удовлетворяют колонные аппараты со стационарными внутренними устройствами (тарелками), которые эффективно применяются в химической технологии для реализации процесса абсорбции. Из всех возможных типов контактных устройств выбрана ситчатая тарелка, которая обладает рядом преимуществ, существенных для биосинтеза. Исходя из конструктивных соображений, использовались ситчатая тарелка кольцевого типа (ТК) и новая, разработанная при участии автора, ситчатая тарелка секторного типа (ТС). Для данных типов тарелок отсутствуют какие либо исследования.

Анализом показано, что существующие в литературе работы построены по общей методологической схеме, опирающейся на идею размерной взаимозаменяемости, с ориентацией на технологические возможности машиностроительных заводов. В целом вопросы управления

качеством функционирования тарельчатых колонных аппаратов в рассмотренных публикациях сведены к точности геометрических параметров и точности формы и расположения тарелок без попытки решения с позиции высокого качества функционирования аппаратов при минимальных затратах. Выбранные показатели качества использовались преимущественно для целей качественной оценки точности и не служили основой для назначения допусков.

Практика показывает, что качество товарного продукта можно получить только на основе комплексного учета конструктивно-эксплуатационных параметров и показателей точности тарельчатых колонных аппаратов. Таким образом, единство подхода к управлению и взаимосвязь показателей точности и функциональных параметров дало основание сформировать единый параллельный комплекс.

Комплекс основан на рассмотрении тарельчатого колонного аппарата как сложной системы с характерными для нее признаками, для изучения которой использована методология системного подхода.

Совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств, дали основание обосновать систему управления качеством колонных аппаратов с ТКС. На основе принципов построения системы с учетом используемого метода математического моделирования разработана программа управления качеством колонных аппаратов с ТКС.

Принципиальные недостатки в управлении качеством функционирования тарельчатых колонных аппаратов, возросшие требования к продукции и отсутствие необходимых литературных данных предопределили постановку следующих задач исследований:

1. С целью повышения качества функционирования колонных аппаратов с ТКС разработать методику комплексной оптимизации функциональных параметров и точности.

2. Для расчета оптимальных функциональных параметров и показателей точности разработать математические модели функционирования контактных устройств ТКС и аппарата в целом.

3. В целях уточнения математического описания функционирования и установления оптимальных параметров, провести экспериментальную оптимизацию, для чего разработать методику и опытно-промышленный стенд целевого назначения.

4. На основании теоретических и экспериментальных исследований провести расчет и обоснование оптимального функционального допуска по функциональным свойствам работы контактного устройства

ТКС и аппарата в целом.

5. Для повышения экономичности колонных аппаратов с ТКС разработать методики расчета оптимального производственного допуска по заданному функциональному допуску.

6. Провести проверку практических рекомендаций в производственных условиях и разработать методику стандартизации автоматизированного решения задачи по комплексному определению функциональных параметров и точности контактных устройств ТКС.

Вторая глава посвящена разработке методики проведения экспериментального метода оптимизации и опытно-промышленного стенда целевого назначения, выявлению закономерностей влияния показателей точности в совокупности с конструктивно-эксплуатационными факторами на эффективность функционирования контактного устройства. Получены оптимальные значения функциональных параметров и показателей точности с точки зрения качества функционирования контактного устройства.

В диссертации дается обоснование различных показателей качества, принятых для оценки работы тарельчатой колонной аппаратуры:

энергетические: удельные энергозатраты E_{vd} , полное гидравлическое сопротивление колонны ΔP_k , полное гидравлическое сопротивление тарелки ΔP_t , величина статического столба жидкости на тарелке H_{cm} ;

массовые: сульфитное число M , объемный коэффициент массопередачи K_v , величина изменения концентрации на тарелке ΔX_t , концентрации потоков на входе и выходе аппарата X_n, X_k, Y_n, Y_k ;

информационные: координаты центра тяжести жидкости в объеме тарелки X_c, Y_c, Z_c .

Качество функционирования тарельчатых колонных аппаратов наиболее полно можно оценить удельными энергозатратами

$$E_{vd} = \frac{E_{nc} + E_{km}}{M} = \frac{1}{M} \left(\frac{L P H_{nc}}{3600 \cdot 102 \cdot 2_{nc}} + \frac{G \Delta P_k}{3600 \cdot 102 \cdot 2_{km}} \right).$$

Полное гидравлическое сопротивление колонны и тарелки, высота статического столба жидкости замерялись непосредственно в ходе эксперимента, а координаты центра тяжести жидкости рассчитывались по формулам для однородного тела.

Количественной мерой влияния отклонения от горизонтальности Δ' и отклонения от плоскостности Δ'' контактного устройства на процесс массопередачи является удельная скорость сорбции кислорода (сульфитное число)

$$M \cdot \frac{8}{63} \frac{dX_{\text{н.т.}}}{d\tau} \cdot S_{\text{н.т.}}$$

и объемный коэффициент массопередачи

$$K_v = \frac{L \Delta x_T}{\int_0^L d\varphi \int_0^{\rho} d\rho \int_0^{\omega} dz \int_0^{\chi} x(\varphi) d\varphi} (8-a).$$

Принятый при исследовании стенд позволял варьировать конструктивно-эксплуатационными параметрами и отклонениями формы и расположения контактного устройства в широких пределах изменения.

Вследствие токсичности и высокой стоимости натуральных сред были проведены предварительные исследования на адекватность натурной и модельной сред, которые позволили провести экспериментальную оптимизацию при минимальных затратах с использованием стандартной сульфитной методики.

Теоретические и экспериментальные исследования эффективности работы ситчатой тарелки ТКС при отклонении ее от плоскостности в совокупности с конструктивно-эксплуатационными факторами показали, что на работу контактного устройства оказывают влияние величина отклонения, направление и площадь, охватываемая ею. Для ситчатой тарелки кольцевого типа место расположения отклонения от плоскостности не имеет принципиального значения. Это происходит потому, что поток газожидкостного слоя движется по руслу одинаковой ширины.

Отклонение от плоскостности полотна распространяется на величину радиуса колонны. В связи с тем, что кольцевая тарелка формируется из последовательного набора различных секторов, отклонение от плоскостности можно рассматривать как отклонение любого из секторов над или под всеми остальными.

Предельное значение отклонения от плоскостности, при котором ее влияние не обнаружено, является ± 2 мм на I пог. м тарелки, что достижимо в производственных условиях.

Теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики и массопередачи при отклонении полотна от горизонтальности с учетом конструктивно-эксплуатационных параметров проводились для ситчатой тарелки кольцевого и секторного типов.

До некоторого предела зафиксировано положительное влияние отклонения от горизонтальности кольцевого типа, которое выразилось в улучшении структуры газожидкостного слоя и росте интенсивности массопередачи.

Изучена динамика изменения гидродинамического градиента в пределах широкого диапазона отклонения от горизонтальности. Так, на кольцевой тарелке по мере увеличения поперечного отклонения он

последовательно убывал до нуля, а затем образовывался и нарастал новый, противоположный по знаку, гидравлический градиент. Из этого следует, что отклонение от горизонтальности является векторной величиной и должно устанавливаться по величине и знаку.

Согласно экспериментальным исследованиям наличие градиента, вызванного отклонением от горизонтальности полотна, в пределах некоторой ξ -окрестности не вызывает неравномерность работы тарелки, что обуславливает высокий уровень интенсивности массопередачи. На ξ -окрестности, длина которой определяется конкретными эксплуатационно-конструктивными факторами, придется пологие вершины парабол величины изменения концентрации на тарелке. Возникновение таких вершин является следствием интенсивного взаимодействия фаз на всей поверхности контактного полотна с получением однородного по структуре газожидкостного слоя. При этом максимум величины изменения концентрации на тарелке приходится на одно из отклонений в ξ -окрестности, аннулирующее гидравлический градиент. Такое отклонение тарелки получило название номинального положения: для кольцевого типа - принудительный наклон в сторону оси колонны, для секторного типа - горизонтальное положение.

Результаты исследований также подтвердили полную согласованность, существующую между гидродинамической обстановкой и уровнем интенсивности массопередачи.

Изучение отклонения от горизонтальности ситчатой тарелки проводилось с учетом комплекса конструктивно-эксплуатационных параметров. Показана компенсирующая способность их на отрицательное действие отклонения от горизонтальности. Найдены оптимальные значения функциональных параметров, при которых достигается наилучший режим работы колонного аппарата: для кольцевой тарелки $G_{\text{опт}} = 800 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{\text{опт}} = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$; $h_{\text{септ}} = 30 \text{ мм}$; для секторного типа $G_{\text{опт}} = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{\text{опт}} = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Обработка экспериментальных исследований позволила составить математические модели функционирования тарелок обоих типов.

В третьей главе представлены разработанные модель отклонения от горизонтальности и методики расчета функционального допуска на отклонение от горизонтальности тарелки и аппарата в целом.

Для серии геометрически подобных аппаратов по эффективности работы тарелок, исходя из функциональных и технологических требований, предъявляемых к тарельчатым колонным аппаратам, разработана методика использования результатов исследований на другие типоразмеры аппаратов.

Допуск на отклонение от горизонтальности определяется

$$T = AR^2 = \frac{k}{B} R$$

Обработка экспериментальных данных позволила найти значение коэффициента пропорциональности B , а величину k следует выбирать из экономических соображений, т.е. с учетом показателей эффективности аппарата и технологических возможностей предприятия, изготовляющего колонну.

Из литературных источников и производственных данных выявлено, что отрицательное влияние отклонения от горизонтальности тарелок с увеличением диаметра аппарата уменьшается, поэтому коэффициент точности A будет неодинаков для всего диапазона диаметров, но единым для одного поддиапазона. Сказанное было формализовано с применением матричного исчисления.

Исходя из теоретических и экспериментальных исследований, разработана методика расчета функционального допуска на отклонение от горизонтальности тарелки. Методика предназначена для определения оптимального отклонения полотна по отклонениям выбранных показателей качества функционирования. Работа каждой тарелки рассматривается в отрыве от работы остальных тарелок аппарата. Значение допуска существенно зависит от конструктивно-эксплуатационных параметров.

Математическое описание расчета функционального допуска включает функцию цели $\Pi = \Delta x_T = f(\Delta') \rightarrow \max$;

$$\Pi = \Delta H_{cm} = f(\Delta') \rightarrow 0;$$

и уравнение связи: режиму равномерного барботажа соответствует

$$\frac{d\Delta x_T(\Delta', G, L, h_{cl})}{d\Delta'} = 0; \quad H_{cm}(\Delta', h_{cl}, G, L, l_1) - H_{cm}(\Delta', h_{cl}, G, L, l_2) \leq \Lambda,$$

где Λ - допустимая величина гидравлического градиента для равномерного взаимодействия фаз.

Функции величины изменения концентрации на тарелке и высоты статического столба жидкости определены экспериментальным путем.

Номинальное положение для секторного типа $\Delta'_{ном} = 0$,
для кольцевого типа $\Delta'_{ном} = 0,039 h_{cl} + 0,29 L$.

Исходя из одинакового изменения эффективности работы тарелки при ее равном отклонении в обе стороны от номинального положения, нижнее предельное отклонение определяется

$$EI = 2 \Delta'_{ном} - ES,$$

где

$$ES = \frac{15}{G^{-1,204} L^{0,53}}$$

- для секторного типа,

$$ES = 0,08h_{cl} + 0,6L \quad - \text{ для кольцевого типа.}$$

Область применения уравнений $h_{cl} = 10-40 \text{ мм}$; $G = 600-1000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
 $L = 5-15 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Условие работы тарелок изменяется по высоте аппарата. Поэтому была разработана методика уточнения функционального допуска, предназначенная для определения отклонения от горизонтальности тарелок аппарата, исходя из нормированных значений показателей качества сырья и товарного продукта с учетом свойств рабочей системы и конструктивно-эксплуатационных факторов.

Предлагаемая методика позволяет рассчитать допуск на отклонение от горизонтальности для каждой тарелки по высоте аппарата. Расчет производится для фиксированного числа тарелок и для уточнения их количества.

Математическое описание расчета функционального допуска на отклонение от горизонтальности включает функцию цели

$$3(l_n, \Delta'_m, \Delta'_E, n) = C_r f(\Delta'_r) + C_{me} f(\Delta'_{me}, n) + K \varphi(n) \rightarrow \min.$$

Данная функция затрат применяется для уточнения числа тарелок при проведении проектного расчета. Она состоит из трех слагаемых, первое и второе выражают трудовые затраты на установку тарелок, монтаж и эксплуатацию аппарата, а последнее — сумму капитальных затрат. Особое значение среди всех параметров имеет ломаная линия l_n , которая строится в замкнутой области, ограниченной предельно кинетической кривой, прямыми исходных концентраций и регламентированного отклонения показателей качества сырья и продукта и рабочей линией. Основной предпосылкой расчета допуска на каждую тарелку являются вершины ступеней ломаной, полученных смежными парами ортогональных прямых, которые указывают на уровень эффективного массообмена, порожденного отклонением от горизонтальности.

Уравнение связи

$$\Delta x_T = 0,00085G - 0,00133\Delta' + 0,004h_{cl} + 0,008L + \\ + 0,000078\Delta' h_{cl} + 0,000771\Delta' L - 0,32 \quad - \text{ для кольцевой тарелки,}$$

$$\Delta x_T = 2,7154 - 0,00704G - 0,0374L - 0,000574\Delta'^2 + \\ + 0,000004665G^2 + 0,0000699586L - 0,00016L^2 \quad \text{для секторной тарелки.}$$

Ограничения:

I. Любая вершина N_i ломаной l_n не может выходить за рабочую линию и опускаться ниже предельно кинетической кривой

$$Y(X, \Delta'_{ном}) \leq Y(N_i) \leq Ax + B$$

2. Ломаная $\mathcal{L}_n$ строится по отклонениям показателей качества сырья и продукта $Y_o = Y_n \in \Delta Y_n$; $Y_n = Y_k \in \Delta Y_k$

3. Число тарелок не должно превышать конечного числа N , обусловленного конструктивными и экономическими соображениями

$$n_T < n \leq N$$

4. Вводятся ограничения в виде систематических ошибок по всем типам погрешностей, которые вызваны возможностями технологического оборудования, монтажной оснастки и условиями эксплуатации

$$\Delta'_{i \min} \leq \Delta'_i; \Delta'_{i \min} \leq \Delta'_m; \Delta'_{i \min} \leq \Delta'_E$$

5. Максимальная результирующая погрешность по каждой тарелке должна быть больше или равна сумме всех видов погрешностей

$$\Delta'_{i \epsilon} + \Delta'_{m \epsilon} + \Delta'_{E \epsilon} \leq \Delta'_{\Sigma \epsilon}; i = \overline{1, n}$$

Искомый допуск тарелки находится как удвоенная разность между оптимальной ее погрешностью и номинальным положением

$$T_{i \text{ опт}} = 2 |\Delta'_{i \text{ опт}} - \Delta'_{\text{ном}}|; i = \overline{1, n}$$

Проведенные исследования позволили установить базовую и рабочую модели оптимизации допуска на отклонение от горизонтальности каждой тарелки.

В четвертой главе на основе теоретических и экспериментальных исследований для определения экономически оптимального функционального допуска разработаны две методики расчета оптимальных производственных допусков теоретико-вероятностным методом и работой по формуляру.

Первая методика применяется при определении оптимальных составляющих функционального допуска, рассчитанного по функциональным свойствам работы аппарата. При этом первичные и монтажно-эксплуатационные погрешности рассматриваются как случайные величины, для которых найдены плотности распределения и статистические параметры.

Математическое описание суммирования упомянутых погрешностей включает:

$$\text{функция цели } Z = \sum_{j=1}^s c_j \exp(-b_j \sigma_{\Delta_j}^2) \rightarrow \min,$$

затрат труда на изготовление и проведение монтажно-эксплуатационных работ с аппаратом;

$$\text{уравнение связи } 2(\sigma_{\Delta_i}^2 + \sigma_{\Delta_{i \epsilon}}^2) = T,$$

где

$$\sqrt{K \sigma_{\Delta_{i \epsilon}}^2 + \sigma_{\Delta_{i \epsilon}}^2 + \sigma_{\Delta_{i n}}^2 + \sigma_{\Delta_{i k}}^2} = \sigma_{\Delta_i}.$$

Вторая методика, используя один из приемов зависимой установки тарелок по эталону, называемой работой по формуляру, позволяет обеспечить регламентированное отклонение от горизонтальности на монтаже и эксплуатации колонного аппарата. Уменьшение отклонения от го-

горизонтальности всех предварительно аттестованных тарелок осуществляется ее варьированием на стадии монтажа колонного аппарата, где в качестве критического значения выступает функциональный допуск.

Формуляр составляется:

- по результатам установки каждой тарелки в отдельности-
- комплексный показатель;
- в формуляр заносятся первичные погрешности по каждой операции - дифференциальный показатель.

Математическое описание расчета оптимальных монтажного и эксплуатационного допусков включает:

функцию цели
$$Z_{m\epsilon} = C_m + C_\epsilon \rightarrow \min,$$

$$C_m = C_m \exp(-\beta_m T_m);$$

где

$$C_\epsilon = C_\phi H_\phi \pi \left(\sqrt[3]{\frac{L M}{E}} K_c P_\epsilon \frac{T_\phi}{H_k + H_\phi} \right)^2,$$

затраты на монтаж и строительство фундамента;

уравнение связи

$$R_{\min} = T_m + T_\epsilon,$$

где

$$T_\epsilon = (H_k + H_\phi) l;$$

ограничение

$$l \leq l_0$$

допустимый крен колонны от вертикали не должен превышать критического значения.

В методике установлен способ определения монтажной и эксплуатационной областей, которые отыскиваются в пределах зоны допустимых отклонений колонны от вертикали, рассчитываемой по данным из формуляра способом, разработанным в данной работе. Для реализации методики работы по формуляру были разработаны алгоритмы и программа расчета на ЭВМ.

Данные методики используются при расчете допусков тарельчатого колонного аппарата, предназначенного для получения продукта первой и высшей групп качества.

В пятой главе на основании проведенных исследований разработана методика стандартизации тарельчатых колонных аппаратов.

Индивидуальный и мелкосерийный характер производства тарельчатых колонных аппаратов наметил внедрение взаимозаменяемости принципами стандартизации: унификации и агрегатирования.

В работе на основании теоретических и экспериментальных исследований даются предпосылки унификации конструктивных модифика-

ций ситчатой тарелки. Структурный анализ конструкций ситчатой тарелки показал, что их можно спроектировать на основе различных схем сочетаний типоразмеров составных частей: сектора, сливной перегородки, внутреннего цилиндра, теплообменных элементов и т.д. Построение параметрического ряда основных параметров производится в зависимости от параметрического ряда главного параметра - диаметра тарелки, по известным методикам.

Необходимым и достаточным признаком унифицированной продукции является равенство основных параметров, которого добиваются с применением технологических и конструктивных методов, приведенных в работе.

В связи с многообразием конструктивных модификаций ситчатой тарелки перед проектировщиком возникает задача выбора оптимальной конструкции с учетом требований и особенностей конкретного технологического процесса. Разработанная в диссертации методика позволяет при проектировании колонных аппаратов выбрать оптимальное для данного случая контактное устройство из числа разработанных и освоенных промышленностью.

Математическая модель выбора оптимальной конструкции ситчатой тарелки имеет вид:

функция цели

$$Z = C_3 + K \rightarrow \min;$$

сумма эксплуатационных затрат, связанных с транспортировкой в колонну сырья и капитальных затрат, связанных с изготовлением тарелки и теплообменных элементов;

ограничения:

1. Диаметр тарелки должен быть оптимальным для данной конструкции

$$D_{\min} < D_i \leq D_{\max}$$

2. Число тарелок оптимизируемых типов ограничивается числом выпускаемых промышленностью

$$\nu = \overline{1, p}$$

Выбор типа и конструкции контактного устройства на основе технико-экономического анализа производится в результате сравнения приведенных затрат в зависимости от фактора скорости во всем диапазоне изменения нагрузок.

Решение данной математической модели позволит ответить на целый ряд важнейших вопросов создания эффективных тарельчатых колонных аппаратов и организации их производства и эксплуатации, а

именно, определить оптимальную структуру парка колонн с оптимальными конструкциями контактных устройств, оптимальный уровень специализации производства самих колонн и отдельных их элементов.

Применение данной методики позволило установить оптимальные диапазоны применения конструктивных модификаций ситчатой тарелки.

На основании проведенных исследований и приведенных в работе методик управления качеством функционирования колонных аппаратов с ситчатыми тарелками кольцевого и секторного типов разработана методика автоматизированного расчета по комплексному определению параметров и допусков тарельчатых колонных аппаратов.

Методика сформулирована в виде блок-схемы, охватывающей решение задачи двумя направлениями - функциональным и технологическим. Схема строится и реализуется в имитационной модели, исходя из предпосылок, которые выявляются при решении задачи. Основой данной схемы является ЛПР - человек (лицо принимающее решение) как неформальное звено выработки генеральных установок и общей коррекции решений при обосновании системы с помощью модели.

ВЫВОДЫ

1. Повышение качества функционирования колонных аппаратов с ситчатыми тарелками кольцевого и секторного типов является комплексной проблемой, зависящей от совместного исследования конструктивно-эксплуатационных параметров и точности.

Для ее решения предложен параллельный комплекс и базовая математическая модель совместной оптимизации указанных параметров и допусков.

2. Предложенный метод экспериментальной оптимизации комплексного рассмотрения конструктивно-эксплуатационных параметров и точности позволяет разработать математические модели оптимизации переменных параметров и допусков на отклонение от горизонтальности и отклонение от плоскостности.

Результаты исследований позволили установить диапазон изменения конструктивного параметра - высота сливной перегородки, и эксплуатационных параметров - расход жидкости и газа. Уточнен рельеф поверхности полотна тарелки, выявлены числовые значения принудительного наклона контактного устройства и функциональных допусков на отклонение от горизонтальности и отклонение от плоскостности.

3. Для серии геометрически подобных аппаратов по методике, учитывающей факторы масштабного перехода, находится допуск на отклонение от горизонтальности сектора кольцевой и секторной тарелки.

Методика разработана с учетом эффективности работы контактных устройств, использования математических методов вычисления, с применением созданного автором стенда экспериментальных исследований.

4. Разработан расчет отклонения от горизонтальности тарелки секторного и кольцевого типов, включающий: определение номинального положения полотна тарелки, предельных отклонений и оптимального допуска.

Расчет основан на обосновании математической модели функционирования по энергетическим свойствам и эффективности работы контактного устройства.

Для тарелок кольцевого типа диаметром свыше 1 м установлена аналитическая зависимость для расчета принудительного наклона полотна.

5. Математическое моделирование точности всей совокупности тарелок колонного аппарата показало, что функциональный допуск на отклонение от горизонтальности каждой тарелки зависит от уровня ее расположения в аппарате, кондиции сырья и допустимых отклонений показателей качества товарного продукта.

На основании экспериментальных и теоретических исследований разработана базовая математическая модель оптимизации функционального допуска на отклонение от горизонтальности ситчатой тарелки. Предложены рабочие модели оптимизации, которые доведены до уровня инженерного расчета.

6. Для определения экономически оптимального функционального допуска на отклонение от горизонтальности контактного устройства разработана методика расчета производственного допуска теоретико-вероятностным методом. На основе экспериментальных данных и теоретических исследований погрешностей установлен случайный характер их возникновения, найдены функции распределения и статистические параметры.

Анализ погрешностей позволил наметить пути управления точностью.

7. В целях дальнейшего повышения экономичности тарельчатых колонных аппаратов разработана методика расчета оптимального про-

изводственного допуска на отклонение от горизонтальности ситчатых тарелок работой по формуляру.

Дано математическое описание технологических и монтажных погрешностей и составлен алгоритм расчета.

8. Повышению экономичности колонных аппаратов с ситчатыми тарелками способствует унификация элементов этих тарелок с применением метода агрегатирования.

На основании разработанной математической модели определен оптимальный диапазон применения каждой конструктивной разновидности ситчатой тарелки, составлен алгоритм и разработана программа автоматизированного расчета параметров и точности тарельчатых колонных аппаратов по заданным исходным данным качества сырья и товарного продукта.

9. Экономический эффект от внедрения нормативно-технической документации, практических рекомендаций, полученных на основе разработанных методик управления качеством функционирования колонных аппаратов с ситчатыми тарелками кольцевого и секторного типов, и новых технологических конструкций, составил 100 тыс. руб.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. ГОСТ 18.101-82. Количественные методы оптимизации параметров объектов стандартизации. Основные положения по составлению математических моделей. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 28 с.

2. Никифоров А.Д., Акатов А.В., Щербатых В.И. Обеспечение качества и эффективности работы тарельчатых колонных аппаратов. - Эксплуатация, ремонт, защита от коррозии оборудования и сооружений, 1983, №1, с.11-13.

3. Никифоров А.Д., Акатов А.В., Щербатых В.И. Обоснование технических требований на положение тарелок массообменных колонных аппаратов. - Эксплуатация, ремонт, защита от коррозии оборудования и сооружений, 1983, №2, с.12-14.

4. Щербатых В.И. Повышение качества функционирования массообменных аппаратов с кольцевыми ситчатыми тарелками. - Общественные вопросы в хим. пром., 1983, №1, с.5-7.

