

Автор ер.
М 44

Министерство высшего и среднего специального образования УССР

**ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

**МОНТИК
ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ
И СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ
С ЦЕЛЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА НЕКОТОРЫЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Специальность 05.13.07 — Автоматическое управление технологическими процессами в пищевой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

Одесский технологический институт пищевой промышленности
им. М.В. Ломоносова

На правах рукописи

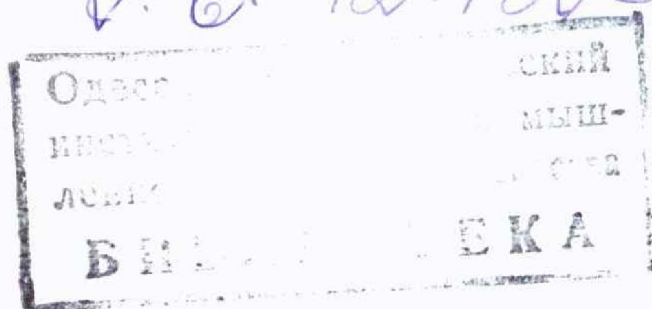
Перочмет 10 *88*

МОНТИК Петр Николаевич

"ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ С ЦЕЛЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕКОТОРЫЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ"

Специальность 05.13.07 – Автоматическое управление
технологическими процессами в пищевой промышленности

в. о. 12428



v012428

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1974 г.

ОНАХТ 05.09.12
Исследование и разра



Работа выполнена на кафедре технологии приборостроения Одесского технологического института пищевой промышленности им.М.В. Ломоносова.

Научные руководители - кандидат технических наук,
доцент Наремский Н.И.
- кандидат технических наук,
доцент Никульча И.П.

Официальные оппоненты - Заслуженный деятель науки и техники УССР,
доктор технических наук,
профессор Варламов М.Л.
- кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Комаров Н.Н.

Ведущее предприятие - Всесоюзное научно-производственное объединение "Пищепромавтоматика".

Автореферат разослан "14" декабря 1974г.

Защита диссертации состоится 17 января 1975г.
в _____ часов на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультета автоматизации и приборостроения Одесского технологического института пищевой промышленности им.М.В. Ломоносова (ауд.272).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, проси направлять по адресу: 270039, г.Одесса-39,Свердлова, II2, ОТИП им. М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
ОТИП им. М.В.Ломоносова
К.Т.Н.

/Запорожец Л.А./

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь р а б о т ы . Широкое применение ионизированного воздуха в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и др. областях вызывает необходимость дальнейшего исследования и совершенствования систем ионизации воздуха, техники и аппаратуры измерения и автоматического регулирования ионизационного состояния среды технологических помещений в пищевой и др. областях промышленности.

Ц е л ь р а б о т ы . заключается в исследовании и разработке способов и средств автоматического регулирования концентрации аэроионов в технологических помещениях.

Н а у ч н а я н о в и з н а диссертационной работы состоит в том, что в ней впервые исследуются вопросы автоматического регулирования концентрации аэроионов, составлено математическое описание управляемого объекта (системы ионизации воздуха); исследован измерительный преобразователь с плоским аспирационным конденсатором и составлена методика его расчета.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь заключается в том, что разработаны и изготовлены счетчики ионов с выносным измерительным преобразователем, ионизатор с регулируемой в широких пределах ионизационной способностью; реализована система ионизации воздуха, нашедшая применение в пищевой промышленности, а также автоматическая система регулирования на разработанных элементах.

Р е а л и з а ц и я н а у ч н о - т е х н и ч е с к и х р е з у л ь т а т о в р а б о т ы . Результаты научных исследований и разработок нашли практическое применение путем внедрения пяти счетчиков ионов (Ленинградский инженерно-строительный институт, Киевский биотрон, ВНИИ источников тока г. Москва), а

также технической реализации автоматических систем регулирования концентрации ионов (ВНИИ источников тока г.Москва, Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова) и системы ионизации воздуха на Одесской маслосырбазе.

Структура и объем диссертационной работы.

Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографического указателя, в котором приводится 135 источников и приложение на 9 страницах. Объем диссертации составляет 148 страниц машинописного текста и 60 рисунков.

Заданиями девятой пятилетки и Директивами УУИ" съезда КПСС предусматривается ускорение темпов научного прогресса, сокращение сроков внедрения результатов научных исследований и разработка новых более совершенных форм технологии и технологических процессов. Одним из таких направлений, появившихся в последние годы, является электронно-ионная обработка материалов. Она характеризуется применением электрических полей в производственных процессах (электроосаждение сыпучих материалов, нанесение покрытий, электрообработка зерна и пищевых продуктов, электрофильтрация и др.).

Одним из средств электронно-ионной технологии является искусственно-ионизированный воздух, который нашел широкое применение в ряде технологических процессов. В пищевой промышленности ионизация применяется для обеспыливания воздуха цехов табачных фабрик, снижения содержания микроорганизмов в воздухе при изготовлении и хранении пищевых продуктов, в производстве столовых вин при их стерильном разливе, для предотвращения образования плесени на поверхности твердых сыров при их созревании, улучшения хлебопекарных качеств зерна путем его обработки в поле коронного разряда и др. В текстильной, легкой, химической, горнорудной и металлообрабатывающей промышленности она применяется для снятия статического электричества и снижения запыленности воздуха. В сельском хозяйстве ионизированный воздух используется для предпосевной обработки зерна, улучшения условий выращивания молодняка в животноводстве, птицеводстве, в инкубаторах и др. Широкое применение он нашел также в гигиене и медицине. Подробный обзор областей применения искусственно ионизированного воздуха приводится в первой главе диссертации.

Использованию предшествует получение ионизированного воздуха определенных параметров, для чего и предназначены системы ионизации.

ции воздуха. Последние включают устройства для генерирования ионов, транспортирования и распределения ионизированного воздуха в производственных помещениях. Измерение и контроль параметров последнего осуществляется специальными измерительными приборами — счетчиками и спектрометрами ионов.

Вопросами получения искусственно ионизированного воздуха, измерением его параметров широко занимаются в нашей стране и за рубежом. Разработан ряд методов и технических устройств для ионизации воздуха и контроля его состояния. Вопросами разработки способов и средств ионизации воздуха занимались Чижевский А.Л., Рейнет Я.Ю., Таммет Х.Ф. и многие другие. Основным методом измерения ионизационного состояния воздуха является метод аспирационного конденсатора. Разработкой теории и практики этого метода занимались в разное время многие исследователи. Одним из первых был аспирационный счетчик Эберта (1901г.). Универсальный переносной счетчик ионов был разработан Израэлем. Близкими к счетчику Израэля свойствами обладают счетчики Богоявленского Л.Н., Отто А.Н., Тверского П.Н. и др. Применение Комаровым Н.Н. динамического электрометра позволило повысить чувствительность и сократить время измерения счетчиков. Значительные успехи в разработке универсальных счетчиков достигнуты в Тартуском Госуниверситете. Разработанные здесь счетчики серии САИ — ТГУ явились результатом теоретических исследований и решения технических задач, проведенных Тамметом Х.Ф., Рейнетом Я.Ю., Сальмом и др.

Хотя в этой области имеются значительные успехи, многие теоретические и практические вопросы требуют дальнейшего исследования и разработки. Так, например, в настоящее время недостаточно разработаны и исследованы ионизаторы с регулируемой в широких пределах ионизационной способностью. Недостаточно исследован изме-

рительный преобразователь с плоским аспирационным конденсатором. Применение последнего позволяет повысить чувствительность счетчиков за счет параллельного соединения электродов конденсатора, а также уменьшить их размеры. Практически не исследованы вопросы автоматического регулирования ионизационного состояния воздуха в производственных помещениях. Эти вопросы подробно обсуждаются в первой главе.

В данной работе приводятся исследования по определению погрешности измерительного преобразователя с плоским аспирационным конденсатором (глава II), влияния конструктивных и режимных параметров последнего на точность измерения (глава III). В главе III также приводится разработанная методика расчета этих преобразователей и описание счетчика ионов, спроектированного и изготовленного по результатам проведенного исследования. Изучение и разработка некоторых типов прогонных ионизаторов приводятся в главе IV. Глава V посвящена составлению математической модели систем ионизации воздуха и вопросам их автоматического регулирования.

Работа заканчивается рассмотрением примеров практической реализации разработок систем ионизации в пищевой и других отраслях промышленности и оценкой экономической эффективности от внедрения одной из них.

Во второй главе проводится анализ погрешностей концентрации ионов методом аспирационного конденсатора. Аспирационный конденсатор представляет собой систему из двух или более электродов, к которым приложено напряжение U , между ними прокачивается исследуемый воздух (его расход Q). При этом электрометром измеряется ток I одного из электродов, называемого собирающим.

Этот ток пропорционален количеству осевших ионов (их суммарному заряду), а концентрация n последних определяется выражением

$$n = \frac{I}{\Phi q}, \quad (1)$$

где Φ - заряд одного иона.

Предельная подвижность k_0 ионов, улавливаемых конденсатором, определяется зависимостью

$$k_0 = \epsilon^* \frac{U}{CU}, \quad (2)$$

где C - действующая емкость аспирационного конденсатора,

ϵ^* - абсолютная диэлектрическая проницаемость исследуемого воздуха.

Выражение (2) является основным уравнением интегрального аспирационного конденсатора и определяет условие полного сбора ионов, подвижность которых $k > k_0$.

Погрешность измерительного преобразователя обусловлена следующими факторами: рекомбинацией ионов в аспирационном конденсаторе, влиянием объемного заряда, диффузией ионов и турбулентным перемешиванием воздуха в конденсаторе, краевым эффектом, адсорбцией ионов на входных устройствах, неоднородностью потока воздуха в объеме аспирационного конденсатора, наведенным током, возникающим из-за изменения емкости конденсатора и флуктуации питающего напряжения: током, генерируемым изоляторами; током, возникающим из-за случайных изменений диэлектрической проницаемости воздуха, поляризации изоляторов, утечек через изоляторы и др. Первые пять из них создают систематические (методические), а остальные - случайные погрешности. Исследование влияния этих факторов на результат из-

мерения проводились аналитическим (глава II) и экспериментальными (глава III) методами.

Перейдем к рассмотрению влияния рекомбинации ионов на результаты измерений. Движение ионов внутри плоского аспирационного конденсатора происходит по прямолинейным траекториям. Условно разделяем межэлектродную область двумя диагональными плоскостями (плоскости траекторий "крайних" ионов) на три зоны. Рекомбинация ионов происходит только в одной зоне, ограниченной плоскостью входного отверстия конденсатора и пересекающимися диагональными плоскостями. В двух других боковых зонах находятся ионы одного знака. Составляем уравнение движения ионов по траекториям к собирающему электроду, где формируется их поток. После интегрирования уравнения для потока отрицательных ионов получим

$$n_0^- = \frac{(k^- + k^+)U}{(1 - \Phi_0)\alpha d^2} \ln \left[\Phi_0 + (1 - \Phi_0) \exp \frac{\alpha d^2}{(k^- + k^+)U} n^- \right] \quad (3)$$

Здесь n_0^- - концентрация отрицательных ионов на входе аспирационного конденсатора (действительное значение); n^- - измеренная концентрация; k^-, k^+ - подвижности отрицательных и положительных ионов, соответственно; α - коэффициент рекомбинации; d - расстояние между электродами; Φ_0 - коэффициент униполярности.

Выражение (3) может быть легко переписано для положительных ионов. Итак, при измерении концентрации ионов аспирационным методом из-за их рекомбинации в объеме конденсатора возникает методическая ошибка, определяемая различием между n и n_0 . По выражению (3) с помощью ЦВМ были построены графики, анализ которых показал следующее. С увеличением приложенного напряжения U и уменьшением расстояния между электродами погрешность падает. Для конкретных параметров преобразователя были построены поправочные графики $n_0 = f(n)$, из которых видно, что n значительно отличается от n_0 при концентрациях $n_0 > 10^7 \text{ см}^{-3}$. С ростом Φ_0 в пределах $(0 + 1)$ погрешность растет.

При измерении концентрации ионы, находящиеся внутри конденсатора, наводят на его электродах заряд, который приводит к изменению

Этот ток пропорционален количеству осевших ионов (их суммарному заряду), а концентрация n последних определяется выражением

$$n = \frac{I}{\Phi q}, \quad (1)$$

где q - заряд одного иона.

Предельная подвижность k_0 ионов, улавливаемых конденсатором, определяется зависимостью

$$k_0 = \epsilon^* \frac{U}{CU}, \quad (2)$$

где C - действующая емкость аспирационного конденсатора,

ϵ^* - абсолютная диэлектрическая проницаемость исследуемого воздуха.

Выражение (2) является основным уравнением интегрального аспирационного конденсатора и определяет условие полного сбора ионов, подвижность которых $k > k_0$.

Погрешность измерительного преобразователя обусловлена следующими факторами: рекомбинацией ионов в аспирационном конденсаторе, влиянием объемного заряда, диффузией ионов и турбулентным перемешиванием воздуха в конденсаторе, краевым эффектом, адсорбцией ионов на входных устройствах, неоднородностью потока воздуха в объеме аспирационного конденсатора, наведенным током, возникающим из-за изменения емкости конденсатора и флуктуации питающего напряжения: током, генерируемым изоляторами; током, возникающим из-за случайных изменений диэлектрической проницаемости воздуха, поляризации изоляторов, утечек через изоляторы и др. Первые пять из них создают систематические (методические), а остальные - случайные погрешности. Исследование влияния этих факторов на результат из-

мерения проводились аналитическим (глава II) и экспериментальным (глава III) методами.

Перейдем к рассмотрению влияния рекомбинации ионов на результаты измерений. Движение ионов внутри плоского аспирационного конденсатора происходит по прямолинейным траекториям. Условно разделяем межэлектродную область двумя диагональными плоскостями (плоскости траекторий "крайних" ионов) на три зоны. Рекомбинация ионов происходит только в одной зоне, ограниченной плоскостью входного отверстия конденсатора и пересекающимися диагональными плоскостями. В двух других боковых зонах находятся ионы одного знака. Составляем уравнение движения ионов по траекториям к собирающему электроду, где формируется их поток. После интегрирования уравнения для потока отрицательных ионов получим

$$n_0^- = \frac{(k^- + k^+)U}{(1 - \varphi_0) \Delta d^2} \ln \left[\varphi_0 + (1 - \varphi_0) \exp \frac{\Delta d^2}{(k^- + k^+)U} n \right] \quad (3)$$

Здесь n_0^- - концентрация отрицательных ионов на входе аспирационного конденсатора (действительное значение); n^- - измеренная концентрация; k^-, k^+ - подвижности отрицательных и положительных ионов, соответственно; Δ - коэффициент рекомбинации; d - расстояние между электродами; φ_0 - коэффициент униполярности.

Выражение (3) может быть легко переписано для положительных ионов. Итак, при измерении концентрации ионов аспирационным методом из-за их рекомбинации в объеме конденсатора возникает методическая ошибка, определяемая различием между n и n_0 . По выражению (3) с помощью ЦВМ были построены графики, анализ которых показал следующее. С увеличением приложенного напряжения U и уменьшением расстояния между электродами погрешность падает. Для конкретных параметров преобразователя были построены поправочные графики $n_0 = f(n)$, из которых видно, что n значительно отличается от n_0 при концентрациях $n_0 > 10^7 \text{ см}^{-3}$. С ростом φ_0 в пределах (0 + 1) погрешность растет.

При измерении концентрации ионы, находящиеся внутри конденсатора, наводят на его электродах заряд, который приводит к изменению

разности потенциалов между ними. Последняя, в случае униполярно ионизированного воздуха, может быть определена на основании теоремы Рамо-Шокли в таком виде ($k > k_0$):

$$U_H = \frac{U}{2} + \sqrt{\frac{U^2}{4} + \frac{d^4 \omega q}{8kLE^2} n_0} \quad (4)$$

ω - скорость прокачиваемого через конденсатор воздуха, L - длина собирающего электрода конденсатора.

Из полученного выражения видно, что результирующая разность потенциалов U_H между электродами конденсатора растет с ростом n_0 . По этой причине изменяется и предельная подвижность аспирационного конденсатора. Таким образом, поле объемного заряда вызывает методическую погрешность в определении предельной подвижности измерительного преобразователя. Как показали численные расчеты, U и U_H существенно разнятся при $n_0 > 10^6 \text{ см}^{-3}$.

В общем случае при измерении концентрации ионов в биполярно ионизированном воздухе имеет место совместное влияние рекомбинации ионов и объемного заряда на результаты измерения. На каждом из электродов конденсатора в этом случае наводится заряд, обусловленный индукцией от объемных зарядов, находящихся в каждой из трех названных зон. В работе приводятся зависимости для определения разности потенциалов U_H между электродами, которые в этом случае значительно сложнее, чем (4). Определение результирующей погрешности от рекомбинации и наведенного заряда проводится с помощью выражения (3), в котором вместо U подставляется U_H . Проведенные на ЦВМ расчеты по полученным выражениям показали, что при малых значениях концентрации n_0 погрешности от объемного заряда и рекомбинации частично компенсируют друг друга: рост разности потенциалов за счет объемного заряда вызывает уменьшение погрешности из-за рекомбинации; с другой стороны, рекомбинация уменьшает величину погрешности в определении предельной подвижности измерительного преобразователя, обусловленной действием объемного заряда. Однако при больших

значениях n_0 преобладающий вклад в погрешность вносит рекомбинация ионов. В работе приводятся поправочные графики, учитывающие погрешность измерения от совместного действия рекомбинации и объемного заряда.

В теории аспирационного метода предполагается, что ионы движутся по детерминированным траекториям. В действительности траектории движения ионов являются случайными и зависящими от их теплового движения и турбулизации воздушного потока, т.е. тепловой и турбулентной диффузии. Искажающее действие этих факторов на результаты измерения исследовалось в работах Таммета Х.Т., Сальма Я.Ю. и др., согласно которым действие тепловой и турбулентной диффузии оказывает влияние на результаты измерения спектра ионов; в интегральных счетчиках этим влиянием можно пренебречь.

Случайные погрешности измерительного преобразователя порождаются флуктуациями токов, генерируемых изоляторами, а также токов, возникающих из-за изменения емкости конденсатора, питающего напряжения, тепловых шумов измерительного резистора R_U (при измерении тока конденсатора по методу падения напряжения на R_U) и другими причинами. Был проведен анализ и получены аналитические зависимости для определения этих погрешностей. Наряду с этим обосновывается допустимость пренебрежения погрешностями от изменения диэлектрической проницаемости воздуха, утечек токов через изоляторы и поляризации последних. В итоге получено выражение для определения результирующей случайной погрешности.

Случайные погрешности измерительного преобразователя порождаются флуктуациями токов, генерируемых изоляторами, а также токов, возникающих из-за изменения емкости конденсатора, питающего напряжения, тепловых шумов измерительного резистора R_U (при измерении тока конденсатора по методу падения напряжения на R_U) и другими причинами. Был проведен анализ и получены аналитические зависимости для определения этих погрешностей. Наряду с этим обосновывается допустимость пренебрежения погрешностями от изменения диэлектрической проницаемости воздуха, утечек токов через изоляторы и поляризации последних. В итоге получено выражение для определения результирующей случайной погрешности.

В конце главы получена аналитическая зависимость для определения чувствительности плоского аспирационного конденсатора:

$$I_1 = \frac{\Delta U}{\Delta n} = \frac{k_0 U R_U}{\varepsilon^2} \quad (5)$$

где ΔU - приращение напряжения на измерительном резисторе R_U .

В третьей главе проводится экспериментальное исследование измерительного преобразователя и разработка прибора для измерения концентрации и дозы ионов. Как указывалось выше, неоднородность

воздушного потока в аспирационном конденсаторе также вызывает случайные погрешности измерительного преобразователя. Степень равномерности потока воздуха в прямоугольном канале зависит от конфигурации входного и выходного устройств, их геометрических параметров, длины канала, степени обработки поверхности стенок, стабильности работы воздушодувки и др. Установка коллектора на входе воздушного потока и конфузора на его выходе позволяет улучшить условия формирования потока. Уменьшение турбулентных пульсаций в канале достигается также установкой на его входе сеток и хойнекомбов. В работе приводятся выражения по выбору оптимальных параметров этих устройств и длины воздушного канала. Количественная оценка степени неоднородности воздушного потока в плоском аспирационном конденсаторе проводилась на экспериментальной установке. Последняя состоит из плоского 6-канального конденсатора и воздушодувки, скорость вращения которой стабилизируется автоматической системой регулирования. На входе аспирационного конденсатора установлен коллектор и сетка, а на выходе по ходу движения воздуха - конфузор. Образующая коллектора построена по дуге окружности; сетка имеет квадратные ячейки с коэффициентом прозрачности $\xi = 0,6$. Конфузор выполнен с переходом от квадратного сечения на круглое. Для измерения локальных скоростей движения воздуха в плоском канале применялся разработанный нами термоанемометр. Измерение скоростей производилось в пяти поперечных сечениях по длине каждого канала, а в каждом сечении - в 20 точках. Обработка результатов эксперимента методами математической статистики позволила определить внутригрупповую, межгрупповую и общую дисперсию скорости воздушного потока в каждом канале, а также общую дисперсию для всего конденсатора. Последняя при среднем значении скорости потока $\omega = 0,76$ м/с равна $6,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с².

Перейдем к исследованию составляющей систематической (методической) погрешности от "краевого эффекта". Под "краевым эффектом"

понимают действие электрического поля конденсатора на ионы при их вхождении в конденсатор. Причиной "краевого эффекта" является электрическое поле, обусловленное разностью потенциалов между высоковольтным электродом и входным устройством, а следствием - осаждение ионов на стенках этого устройства под действием сил поля. "Краевой эффект" принято характеризовать емкостью "краевого эффекта" C_T , которая в конденсаторах с внешним собирающим электродом образуется входным устройством и высоковольтным электродом. Величина C_T зависит от длины L_g "вылета" собирающего электрода над высоковольтным, расстояния d между электродами и числа m_c секций конденсатора, а также параметров входной сетки. В литературе имеются формулы для расчета емкости "краевого эффекта" в цилиндрических конденсаторах, которые не приемлемы для расчета плоских конденсаторов. Аналитический расчет емкости "краевого эффекта" последних связан с большими затруднениями, поэтому в данной работе применяется экспериментальный метод. Последний был реализован методом многофакторного планирования эксперимента на специальной установке. По результатам эксперимента была получена зависимость $C_T(L_g, d, m_c, \xi)$, позволяющая рассчитать емкость C_T и поправку на "краевой эффект".

Адсорбция ионов на сетке и входном устройстве происходит под действием диффузии и зеркальных сил и характеризуется величиной относительной адсорбции (Таммет У.Ф. "Аспирационный метод измерения спектра ионов" Ученые записки ТГУ, 1967г. вып.195 с 117). Применительно к плоским аспирационным конденсаторам была получена аналитическая зависимость для определения ее величины и проверена экспериментально. Это позволило сделать вывод, что данная зависимость применима для приближенного определения величины поправки на адсорбцию.

Проведенные в главах II и III исследования позволили составить методику и последовательность расчета плоских аспирационных кон-

денсаторов. По ним был рассчитан измерительный преобразователь и определена его погрешность. Приведем основные характеристики рассчитанного преобразователя:

$d = 0,8$ см, ширина электродов $b = 8,0$ см, $L = 12,0$ см, $m_c = 3$, $C = 63,6$ пФ, $\Phi = 2460$ см³/с, $U = 10$ В (для $k \geq 0,35$ см²/В·с) и $U = 780$ В, (для $k \geq 4,5 \cdot 10^{-3}$ см²/В·с); коэффициент преобразования конденсатора $I_f = 2 \cdot 10^{-5}$ В·см³; $\xi = 0,6$; радиус проволоки сетки 0,08 мм, радиус образующей входного коллектора 1,6 см, гидродинамический диаметр 8 см; выходной конфузор с переходом от квадрата на круг имеет угол раскрытия 40° и длину образующей 12 мм; приведенная погрешность измерительного преобразователя $\delta n = \pm 3,4\%$ (при надежности $P = 0,95$).

Вторая часть этой главы посвящена разработке счетчика-дозиметра ионов, в основу которого положен рассчитанный измерительный преобразователь. Приведем основные схемные особенности прибора. Напряжение на измерительном резисторе измеряется электрометром, собранным по компенсационной схеме. Вследствие этого напряжение на собирающих электродах при измерении всегда значительно меньше 1 мВ, что позволяет практически устранить поляризацию и уменьшить токи утечки изоляторов. В целях улучшения стабильности и устойчивости схема электрометра построена по принципу модуляция-демодуляция входного сигнала. Предусмотрена проверка чувствительности прибора по току с помощью резистивного источника тока, а также автоматическое регулирование скорости вращения воздуходувки. Суммарное за определенный промежуток времени значение концентрации (доза ионов) определяется специальным интегральным блоком.

Разработана функциональная и принципиальная электрическая схемы и изготовлен опытный образец счетчика-дозиметра ионов. Градуировка прибора проводилась при помощи ионизационных источников тока, погрешность аттестации которых $\pm 0,5\%$. Конструктивно прибор вы-

полнен в виде двух блоков - выносного и основного, соединенных между собой кабелем длиной 50 м. Электронная часть прибора выполнена в основном на интегральных схемах. На передней панели основного блока расположены органы управления прибора.

Произведен расчет погрешности счетчика-дозиметра ионов, его чувствительности и времени измерения. Получена передаточная функция прибора:

$$W_2(p) = \frac{u(p)}{I(p)} = \frac{1}{4,8p+1} \quad (6)$$

где $u(p)$ - изображение по Лапласу выходного напряжения счетчика, $I(p)$ - изображение по Лапласу тока аспирационного конденсатора.

Основные технические характеристики счетчика-дозиметра ионов:

- прибор позволяет производить дистанционное измерение концентрации легких и тяжелых ионов обоих знаков;
- диапазон измеряемых концентраций ($10^2 + 10^7$ ион/см³) разбит на 8 поддиапазонов;
- максимальная погрешность измерения концентрации ионов в нормальных условиях не превышает $\pm 8,7\%$, а дозы ионов $\pm 8,7\% \pm 1$ единица младшего разряда электромеханического счетчика;
- время установления показаний приборе не превышает 15 с;
- предусмотрен стандартный выход для самопишущего прибора и автоматического регулятора;
- прибор имеет релейный двухпозиционный выход и задатчик установки порога срабатывания;
- габаритные размеры:
выносного блока 300 x 120 x 200 мм,
основного блока 375 x 330 x 90 мм.

На кафедре технологии приборостроения ОТИП им. М. В. Ломоносова изготовлено и внедрено в различные организации пять аналогичных приборов, что подтверждается актами, прилагаемыми к диссертации.

В четвертой главе исследуется процесс генерирования ионов в проточных ионизаторах. Для искусственной ионизации воздуха применя-

ются генераторы ионов (ионизаторы), к которым предъявляются следующие основные требования: высокая ионизационная способность и возможность изменения ее в широких пределах; генерирование ионов одного либо обоих знаков; отсутствие побочных нежелательных эффектов и явлений (шум, окислы воздуха и т.д.); надежность, экономичность простота и безопасность.

Из обзора работ по методам и технике ионизации воздуха можно сделать вывод, что наибольшее практическое применение получили ионизаторы, использующие коронный разряд, как наиболее полно удовлетворяющие указанным требованиям.

Удаление образовавшихся ионов из ионизатора и направление их в определенный объем может происходить под действием следующих факторов: тепловой диффузии, электрических сил поля объемного заряда или внешнего направленного поля, принудительного потока воздуха. Наиболее эффективным является третий фактор. Ионизаторы, использующие его, будем называть проточными.

В связи с этим в работе исследуются, главным образом, коронные проточные ионизаторы.

Ионизационная способность коронного ионизатора, которую будем характеризовать концентрацией ионов на выходе последнего, зависит от его режимных и конструктивных параметров: величины напряжения, подаваемого на коронирующие электроды, его вида (постоянное, переменное, импульсное), типа коронирующих электродов (проволочные или игольчатые), диаметра проволоки или величины угла острия, количества электродов и шага между ними и др.

Возможность изменения ионизационной способности генератора ионов в широких пределах является основным требованием, предъявляемым к ионизатору как элементу автоматической системы регулирования. Она достигается изменением величины напряжения, подаваемого на коронирующие электроды. Однако ионизаторы постоянного тока обладают

нелинейными регулировочными характеристиками. В этой связи в работе предлагается и исследуется коронный ионизатор, питаемый импульсным напряжением (импульсный ионизатор). Регулирование ионизационной способности последнего осуществляется изменением длительности или частоты f_u импульсов, т.е. изменением коэффициента заполнения

$$\gamma_u \cdot \gamma_u = \tau_u f_u, 0 \leq \gamma_u \leq 1. \quad (7)$$

Амплитуда U_u импульсов при этом не изменяется.

Сравнительное исследование ионизаторов постоянного тока и импульсных проводилось на экспериментальной установке. При этом в ионизаторах использовалась коронирующая система "составной конструкции" (Вислапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю., Авт. св. № 202647, 1967 г.). Последняя представляет собой осесимметричную ячейку "игольчатый коронирующий электрод-кольцевой электрод". Такая конструкция позволяет снизить начальное напряжение коронирования и исключить взаимное экранирование коронирующих электродов.

В проведенных в данной работе опытах длина L_u игл изменялась в пределах 12,5 + 75 мм, диаметр d_k кольцевого электрода -15 + 200 мм, форма импульсов прямоугольная, частота импульсного напряжения изменялась в пределах 0,1 + 20 Гц; длительность импульсов -5 + 1000 мс, что обеспечивало изменение коэффициента заполнения γ_u в пределах 0 + 1; амплитуда U_u импульсного напряжения менялась в пределах 3 + 8 кВ; относительная влажность -42,64, 75%. Остальные параметры не варьировались и находились в пределах: температура воздуха 293 + 295°К, атмосферное давление $10^5 \pm 650$ н/м², разрядный промежуток -50 см, угол заточки игл 20°, скорость движения воздуха 10 м/сек. Питание коронного ионизатора осуществлялось от специально разработанного источника импульсного напряжения, а измерение концентрации N ионов на выходе проточного ионизатора проводилось плоским аспирационным конденсатором и электрометром.

В процессе проведения исследований для двух названных типов ионизаторов (постоянного тока и импульсного) экспериментально были

получены графики зависимостей $n = n(L_u, U_u, \gamma_u)$ - для ионизаторов с иглообразными электродами и $n = n(L_u, U_u, \gamma_u, d_k)$ - для стовой конструкции ионизатора.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы.

- В обеих конструкциях коронирующих систем с увеличением длины игл концентрация ионов на выходе ионизатора растет, причем кривые имеют область "насыщения", соответствующую $L_u > 50$ мм.
- Кривые зависимости n от диаметра кольцевого электрода для обших типов ионизаторов имеют экстремум: максимальное значение выходной концентрации при различных L_u, U_u и γ_u имеет место при $d_k \approx 35$ мм.
- Концентрация ионов на выходе ионизатора при стовой конструкции коронирующей системы в 1,5 раза больше, чем при обычной (при прочих равных условиях).
- Статистические характеристики $n = n(\gamma_u)$ импульсного ионизатора в широком диапазоне имеют линейный характер, независимо от того, изменяется γ_u за счет частоты или длительности импульсов.
- Статистические характеристики $n = n(U)$ коронного ионизатора постоянного тока имеет нелинейный монотонный характер, причем при стовой конструкции коронирующей системы "насыщение" характеристик наступает при более высоких напряжениях.

В пятой главе исследуются вопросы автоматического регулирования концентрации ионов в технологических помещениях пищевой промышленности. Совокупность технических устройств, предназначенных для ионизации воздуха и его транспортирования, вместе с обслуживаемым помещением составляет систему ионизации воздуха. Системы ионизации воздуха предназначены для создания искусственно ионизированной среды в помещениях различного назначения. Они нашли применение в ряде производственных процессов для снижения содержания микроорганизмов и пыли в воздухе в технологических помещениях табачных фабрик, при производстве столовых вин, для предотвращения образования плесени на поверхности твердых сыров при их созревании и др. Кроме

этого, системы ионизации позволяют улучшать условия содержания животных, птиц (в животноводстве и птицеводстве), повысить посевные качества зерна и продуктивность растений, его сохранность.

Системы ионизации воздуха конструктивно могут выполняться как самостоятельно, так и в сочетании с системами вентиляции и кондиционирования воздуха. В первом случае генератор ионов устанавливается непосредственно в ионизируемом помещении, во втором случае - в приточных воздуховодах (как, например, в кондиционерах, выпускаемых японской фирмой Мицубиси). Если используется баллоэлектрический генератор ионов, то он может быть исполнен на базе форсуночной камеры системы кондиционирования воздуха.

Установка ионизаторов в приточных воздуховодах вызвана необходимостью обеспечения равномерной концентрации ионов по объему помещения. При установке ионизатора непосредственно в помещении это достигается значительно труднее.

Таким образом, основными звеньями системы ионизации воздуха являются: генератор ионов, воздуховод, помещение; в отдельных случаях по ходу воздуховода могут находиться воздухонагреватели и другие устройства.

При любом конструктивном исполнении системы ионизации воздуха требуется иметь в помещении ионизированную воздушную среду с определенной равномерно распределенной по объему концентрацией ионов одной либо обеих полярностей (с заданным коэффициентом униполярности μ). На величину и стабильность концентрации ионов внутри помещения оказывают влияние различные факторы: метеорологические, пыле-, тепло-, газо-, био-выделения внутри помещения, а также режимные параметры системы ионизации (режим и стабильность работы ионизатора, кратность воздухообмена и др.). Как показали исследования, ионный состав воздуха в помещениях под действием указанных факторов изменяется в широких пределах. Это вызывает необходимость регулирования концентрации ионов.

Рассматривая систему ионизации воздуха как объект автомати-

ческого управления, отметим, что целесообразно выбрать в качестве управляемых величин концентрацию ионов в помещении и коэффициент униполярности; в качестве управляющих воздействий - ионизационную способность генератора или кратность обмена воздуха (в пределах санитарной нормы). Основными возмущающими воздействиями являются изменения количества обитателей помещения, внутренних выделений, метеорологических факторов и др.

Исследование системы ионизации воздуха как управляемого объекта до настоящего времени практически не проводилось. Поэтому возникла задача ее математического описания. Математическая модель должна отражать особенности объекта в статике и в динамике. При ее составлении учитывалось образование ионов и потери их в звеньях системы вследствие рекомбинации, диффузии, электростатического рассеяния, термофореза и других явлений. Принятые при этом упрощающие допущения находятся в пределах точности, достаточной для инженерных расчетов.

Перейдем к рассмотрению полученных уравнений звеньев систем ионизации воздуха.

Генератор ионов. Переходные процессы, происходящие в коронном ионизаторе, являются быстротечными; их длительность не превышает 10^{-3} с. Это позволяет с достаточной для практики автоматического регулирования точностью рассматривать коронный ионизатор как устойчивое звено, уравнение которого имеет вид

$$n_u = K_u \gamma_u \quad (8)$$

где n_u - концентрация ионов на выходе ионизатора,

K_u - коэффициент передачи ионизатора (определяется по экспериментальным характеристикам).

Воздуховод. Рассматривается воздуховод круглого сечения с неизолированными стенками, по которому принудительно движется bipolarно ионизированный и очищенный воздух со скоростью ω_0 . Для движущегося в воздуховоде элемента воздуха длиной dx на основании

закона сохранения количества зарядов можно записать

$$-\frac{\partial n_0}{\partial t} - \omega_0 \frac{\partial n_0}{\partial x} = \beta n_0^2 + \frac{2D}{\delta_0 R_0} n_0 \quad (9)$$

где n_0 - концентрация положительных или отрицательных ионов (полярность ионов учитывается соответствующей записью коэффициента β),

t - время,

x - текущее значение координаты (длина),

β - коэффициент, учитывающий рекомбинацию и электростатическое рассеяние,

D - коэффициент диффузии,

δ_0 - толщина пограничного слоя,

R_0 - радиус воздуховода.

Разлагая в записанном уравнении n_0^2 в ряд Тейлора по степеням Δn_0 в окрестности n_{00} , пренебрегая при этом членами ряда с малостями второго порядка и выше и переходя к малым безразмерным отклонениям, получим:

$$\frac{\partial \bar{n}_0(t, \bar{x})}{\partial \bar{x}} + a_1 \frac{\partial \bar{n}_0(t, \bar{x})}{\partial t} + a_2 \bar{n}_0(t, \bar{x}) = 0 \quad (10)$$

где $\bar{n}_0 = \frac{\Delta n_0}{n_{00}}$, $\Delta n_0 = n_0 - n_{00}$, $\bar{x} = \frac{x}{L_0}$, L_0 - длина воздуховода,

Для получения передаточной функции $W(p)$ воздуховода применим к выражению (10) преобразование Лапласа при следующих начальных условиях: $t=0, \bar{n}_0(0, \bar{x})=0, \bar{x}=0, \bar{n}_0(t, 0) = \bar{n}_u(t, 0)$.

Тогда
$$W(p) = e^{-a_2 \bar{x}} e^{-a_1 \bar{x} p} = K_0 e^{-p\tau} \quad (11)$$

где p - оператор Лапласа,

K_0 - коэффициент передачи воздуховода,

τ - время запаздывания.

Следовательно, воздуховод как звено автоматической системы регулирования концентрации ионов представляется последовательным соединением усилительного звена и звена запаздывания.

Для определения статических и конструктивных характеристик

воздуховода решаем уравнение (9) при $\frac{dn_0}{dt} = 0$ и граничных условиях $x = L_0, n_0 = n_{00}$. Искомое решение запишется так:

$$n_{00} = \frac{2 D n_{11}}{\delta_0 R_0 \left[\left(\frac{2D}{\delta_0 R_0} + \beta n_{11} \right) \exp\left(\frac{2D L_0}{\delta_0 R_0 \omega_0} \right) - \beta n_{11} \right]} \quad (12)$$

По выражению (12) были построены статическая $n_{00}(L_0)$ и конструктивные характеристики $n_{00}(L_0), n_{00}(R_0), n_{00}(\omega_0)$, по которым можно отметить следующее. Концентрация ионов n_{00} на выходе воздуховода с ростом L_0 и ω_0 монотонно растет; характеристики имеют участок наращения. Величина радиуса воздуховода R_0 практически не влияет на n_{00} . Увеличение длины воздуховода ведет к существенному увеличению потерь ионов и снижению их концентрации n_{00} на его выходе.

Помещение. Рассматривается помещение, ионизированный воздух в которое подается приточной, а удаляется вытяжной вентиляцией. На основании закона сохранения количества зарядов для неустановившегося режима помещения с объемом V , в которое подается биполярно ионизированный воздух, можно записать:

$$Q_{пр} n_0 - Q_{выт} n_n - V \beta n_n^2 - A n_n - M n_n m_n - V \gamma_n n_n N_n = V \frac{dn_n}{dt} \quad (13)$$

$$V m_n - Q_{выт} N_n - E N_n - M m_n N_n = V \frac{dN_n}{dt}$$

В этих уравнениях приняты следующие обозначения:

n_n - концентрация легких отрицательных или положительных ионов в помещении (усредненная по объему помещения),

n_0 - то же в воздухе, подаваемом в помещение (в приточном воздухе),

N_n - суммарная концентрация тяжелых ионов и нейтральных частиц в помещении (усредненная по объему помещения),

m_n - количество обитателей помещения,

n_{00}, N_{00}, m_{00} - установившееся значение соответствующих величин,

$Q_{пр}$ - объемный расход приточного воздуха,

$Q_{выт}$ - объемный расход воздуха, удаляемого из помещения (вытяжной вентиляцией),

$A, \beta, E, M, \gamma, \mu_n$ - постоянные коэффициенты.

В первом уравнении системы (13) третьи члены левой части учитывают ион-ионную рекомбинацию и электростатическое рассеяние, четвертые - диффузионное осаждение на поверхностях стен и оборудования, пятые - вдыхание легких ионов обитателями помещения, а шестые - осаждение легких ионов на тяжелых и нейтральных частицах. Во втором уравнении системы (13) первые члены левой части отражают образование тяжелых ионов и нейтральных частиц в воздухе, выдыхаемом обитателями, четвертые члены - их убывание вследствие вдыхания последними, а третьи - учитывают их гравитационное осаждение.

После линеаризации перехода к малым отклонениям и некоторых преобразований система (13) в относительных величинах переписывается так:

$$T_1 T_2 \frac{d\bar{n}_n}{dt} + (T_1 + T_2) \frac{d\bar{n}_n}{dt} + \bar{n}_n = T_3 \frac{d\bar{n}_0}{dt} + K_3 \bar{n}_0 - (T_4 \frac{d\bar{m}_n}{dt} + K_4 \bar{m}_n) \quad (14)$$

где $\bar{n}_n = \frac{\Delta n_n}{n_{n0}}$; $\bar{n}_0 = \frac{\Delta n_0}{n_{00}}$; $\bar{m}_n = \frac{\Delta m_n}{m_{n0}}$; $\Delta n_n = n_n - n_{n0}$; $\Delta m_n = m_n - m_{n0}$;

T_1, T_2, T_3, T_4 - постоянные времени;

K_3, K_4 - коэффициенты передачи.

Величины коэффициентов T и K определяются конструктивными и режимными параметрами помещения по полученным в работе аналитическим выражениям.

Из уравнения (14) с помощью преобразования Лапласа легко получают передаточные функции: по каналу возмущения изменением входной концентрации (управления)

$$W_1(p) = \frac{K_3}{T_2 p + 1} \quad (15)$$

по каналу возмущения изменением числа обитателей помещения

$$W_2(p) = \frac{T_4(p) + K_4}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \quad (16)$$

Следовательно, помещение как объект автоматического управления концентрацией ионов по каналу изменения входной концентрации является

апериодическим звеном первого порядка, а по каналу возмущения - звеном второго порядка с форсированием.

Статические и конструктивные характеристики помещения получим из (13) при $\frac{dNa}{dt} = 0, \frac{dNn}{dt} = 0, Q_{np} = Q_{выт} = Q_n$.

После решения (13) при этих условиях получим:

$$n_{no} = \frac{-b + \sqrt{b^2 + (3,6 + 2,44\%)10^{-12} Q_n V n_{no}}}{2(0,9 + 0,64\%)10^{-12} V}, \quad (17)$$

где
$$b = Q_n + 9 \cdot 10^{-4} S_n \sqrt{\frac{\omega_n}{h_n}} + 1,3 \cdot 10^{-4} n_{no} + \frac{4 \cdot 10^{-5} V m_{no}}{Q_n + 9 \cdot 10^{-10} S_r + 1,33 \cdot 10^{-4} n_{no}}$$

S_n, S_r - поверхности стен и оборудования,

ω_n - средняя скорость движения воздуха в помещении,

h_n - размер стен помещения в направлении движения воздуха.

По полученному выражению были построены статические $n_{no}(n_{so})$, $n_{no}(m_n)$ и конструктивные характеристики $n_{no}(V), n_{no}(Q)$. Зависимость концентрации n_{no} от ее величины в приточном воздухе n_{so} в широком диапазоне близка к линейной. Угол наклона кривых зависит от числа обитателей. При больших значениях входной концентрации характеристики входят в область насыщения. С увеличением расхода воздуха концентрация в помещении растет, причем тем интенсивнее, чем меньше входная концентрация. Рост числа обитателей ведет к уменьшению концентрации ионов в помещении, особенно при малых значениях входной концентрации. С увеличением объема V помещения концентрация n_{no} падает. Полученные статические характеристики позволяют в широком диапазоне определять коэффициенты передачи помещения по входным параметрам.

Структурная схема АСР концентрации ионов состоит из следующих устройств: ионизатора, воздуховода, помещения, датчика концентрации ионов и автоматического регулятора. Управляемый объект описывается уравнением (8), (11), (14), а датчик - уравнением (6). Расчеты показывают, что для рассматриваемого класса систем ионизации воздуха численное значение отношения времени запаздывания к постоянной

времени управляемого объекта не превышает единицы. Следовательно, для регулирования рассматриваемых объектов могут применяться непрерывные и позиционные регуляторы.

Переходные процессы в АСР с непрерывными и позиционными регуляторами были исследованы на аналоговой вычислительной машине. При этом для конкретных систем регулирования были определены показатели качества процесса регулирования и оптимальные настройки регуляторов.

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы. Максимальная динамическая ошибка наблюдается в системе с интегральным регулятором при прохождении возмущений по каналу управления. При возмущении системы изменением количества обитателей помещения наибольшая динамическая ошибка имеет место в АСР с пропорциональным регулятором. Улучшее качество регулирования получается при применении пропорционально-интегральных (ПИ) и пропорционально-дифференциальных (ПД) регуляторов, причем второй по сравнению с первым ощутимого выигрыша в качестве регулирования не дает. Следовательно, предпочтение может быть отдано ПИ-регуляторам. В случае применения двухпозиционных релейных регуляторов качество регулирования хуже, чем при непрерывных. Кроме того, заметим, что малый коэффициент передачи управляемого объекта по каналу управления вызывает необходимость выбора больших значений коэффициента усиления регулятора.

Остановимся кратко на некоторых конкретных примерах системы ионизации воздуха и АСР концентрации ионов, реализованных нами практически.

Системы ионизации воздуха в камерах созревания твердых сыров.

В процессе созревания твердых сыров при относительной влажности 80% и выше наблюдается интенсивный рост плесени на поверхности. Это приводит к нарушению биохимических процессов, протекающих в сыре, его вкусовых качеств, консистенции и внешнего вида. Для предотвращения

образования плесени в промышленности применяются различные методы. Нами были проведены исследования по выявлению возможности использования ионизированного воздуха для предотвращения роста плесени на поверхности сыра. С этой целью на Одесской маслозаводе была смонтирована система ионизации воздуха. Проведенными экспериментами было установлено, что при созревании сыра в поле коронного разряда рост плесени практически не происходит. При этом, как показали физико-химические исследования, качество сыра не ухудшается. Следовательно, для предотвращения образования плесени в процессе созревания сыра можно рекомендовать использование ионизированного воздуха.

Автоматически регулируемая система ионизации воздуха обслуживаемого помещения. Для исследования систем ионизации воздуха на кафедре технологии приборостроения ОТМПИ им. Томоносова создано специальное помещение объемом 70 м^3 , снабженное системой вентиляции, генератором ионов, а также аппаратурой для измерения и автоматического регулирования ионного состава воздуха (счетчик ионов, промышленные реле и непрерывные регуляторы, исполнительные механизмы). Флуктуации концентрации под действием возмущающих факторов при отсутствии автоматического регулирования достигают 35% от номинального значения. Система автоматического регулирования позволила стабилизировать концентрацию ионов. Так, в системе ПИ-регулятором максимальная динамическая ошибка составила 8,9%, а время регулирования - около 170 с.

АСР концентрации ионов в помещении специального назначения. В этом сооружении параметры воздуха (давление, относительная влажность, температура, ионный состав воздуха) необходимо поддерживать на определенных оптимальных уровнях. Нами была разработана и смонтирована система ионизации воздуха в таком помещении (биотрон ЭИИИИТ г. Москва), в котором применены коронные импульсные ионизаторы, установленные в приточных воздуховодах. Концентрация ионов под-

держивается автоматической системой регулирования. Последняя конструктивно выполнена в виде пульта управления, установленного в операторной, и измерительных преобразователей концентрации ионов, расположенных непосредственно в помещениях. Испытания показали работоспособность системы и возможность поддержания концентрации ионов в заданных пределах.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Исследованы и разработаны элементы систем ионизации воздуха и автоматическая система регулирования концентрации ионов для объектов пищевой и других областей промышленности.
2. Проведен анализ методических погрешностей, возникающих вследствие рекомбинационных явлений, влияния объемного заряда и их совместного действия. Рекомбинационные явления в аспирационном конденсаторе приводят к появлению погрешности в измерении концентрации ионов. Последняя растет с ростом измеряемой концентрации, коэффициента униполярности (в пределах от 0 до 1), расстояния между электродами конденсатора и падает с увеличением приложенного напряжения. Объемный заряд также вызывает погрешность измерения за счет влияния на предельную подвижность конденсатора. Рекомбинационные явления, оказывая влияние на величину объемного заряда, несколько уменьшают погрешность от действия последнего. Основной вклад в величину погрешности вносит рекомбинация ионов.
3. Основной вклад в величину случайной погрешности измерительного преобразователя вносят флуктуации расхода воздуха, прокачиваемого через конденсатор, напряжения питания аспирационного конденсатора и его емкости.
4. С целью выравнивания потока внутри аспирационного конденсатора необходимо устанавливать на его входе коллектор с сеткой, на выходе - конфузор. Параметры последних рассчитываются по приведенным в работе зависимостям. Для измерения локальных скоростей движения

воздуха в узких каналах разработан специальный прибор.

5. Методом многофакторного планирования эксперимента получена зависимость, позволяющая рассчитать емкость краевого эффекта и поправку на него к результатам измерения концентрации ионов.

6. По результатам проведенного в работе исследования предложена методика и последовательность расчета плоских аспирационных конденсаторов.

7. На основании проведенных исследований и предложенной методики разработан и изготовлен счетчик-дозиметр ионов с выносным измерительным преобразователем. Чувствительность разработанного прибора равна 1 дел./ 10см^{-3} , погрешность измерения $\pm 8,7\%$, а время измерения не превышает 15 с.

8. Предложен и исследован импульсный генератор ионов, ионизационная способность которого линейно зависит от коэффициента заполнения и регулируется в широких пределах.

9. С целью увеличения ионизационной способности ионизатора и снижения напряжения питания разработана и исследована "сотовая" конструкция ионизатора. С ростом диаметра кольцевого электрода ионизационная способность генератора растет, достигая экстремума при значениях диаметра кольца 35 мм (для разрядного промежутка 50 мм). В экстремальной точке входная концентрация рассматриваемого ионизатора выше в 1,5 раза, чем в ионизаторах обычной конструкции.

10. Проведен анализ системы ионизации воздуха как объекта автоматического управления, определены управляемые, управляющие и возмущающие величины.

11. Составленное математическое описание системы ионизации воздуха позволило получить статические и динамические характеристики ее звеньев и проанализировать влияние конструктивных и режимных параметров на величину концентрации ионов в каждом из них. Математическое моделирование, выполненное с помощью полученных уравнений, позволило исследовать переходные процессы в АСР концентрации ионов

и оценить значения качественных показателей.

12. Приведенные в главах III, IV и V исследования позволили практически реализовать несколько примеров систем ионизации воздуха с автоматическим регулированием ионного состава в пищевой и других областях промышленности.

13. Проведенные исследования по применению ионизированного воздуха показали, что обработка сыра в поле коронного разряда (при концентрации ионов порядка $5 \cdot 10^5 \text{см}^{-3}$) предотвращает рост плесени на его поверхности в процессе созревания. Это позволяет упразднить технологические операции, связанные с мойкой сыров в процессе созревания, уменьшить потери сыра на усушку (опытные образцы сыра содержали в среднем на 1,2% влаги больше, чем контрольные). При этом биохимические показатели и аминокислотный состав опытных и контрольных образцов не отличались. Следовательно, этот способ можно рекомендовать для внедрения в производство твердых сыров.

Приведенные в работе исследования подкреплены результатами практических разработок и их внедрением на Одесской маслосырбазе, в лаборатории ОТИПП им. Ломоносова, в Ленинградском инженерно-строительном институте и на биотронах (г. Киев и г. Москва).

Экономический эффект от внедрения системы ионизации воздуха в камерах созревания сыра составляет на примере Одесской маслосырбазы 39,7 тыс. рублей в год при производительности 1000 тонн в год.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях (в соавторстве):

1. О динамике процесса образования и переноса ионов в биотроне. Тезисы докладов отраслевой научной конференции "Расчет, конструирование и исследование оборудования производства источников тока". М. Энергия, 1970, с 76-77.
2. Применение искусственной ионизации в системах кондиционирования воздуха. Сб. "Кондиционирование воздуха". Материалы секции кондиционирования воздуха республиканской конференции ЛТИХП, Ленинград,

1972, с 80-82.

3. Автоматическое регулирование концентрации ионов в системах кондиционирования. Сб. "Кондиционирование воздуха". Материалы секции кондиционирования воздуха республиканской конференции ЛТИУП, Ленинград, 1972, с 83-86.
4. К вопросу генерирования и измерения концентрации ионов. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания. "Расчет, проектирование и исследование оборудования производства источника тока". М. ВНИИТ, 1972, с 76-77.
5. Обработка экспериментальных характеристик объектов регулирования с целью получения математической модели. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания. "Расчет, проектирование и исследование оборудования производства источников тока". М. ВНИИТ, 1972, с 79-80.
6. Система автоматического регулирования концентрации аэроионов. Сб. "Кибернетика и автоматическое управление" секция "Техническая кибернетика". Институт кибернетики АН УССР, Киев 1973, с 71-75.
7. Динамика системы автоматического регулирования ионного состава в системах кондиционирования. Тезисы докладов VI Всесоюзного научно-технического совещания по кондиционированию воздуха. Стройиздат. Москва, 1973, с 116-117.
8. Проблема автоматического регулирования концентрации аэроионов в помещениях с искусственно ионизированной атмосферой. Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Гидрометеоздат. Ленинград, 1973, с 62-63.
9. Исследование и разработка аппаратуры для дистанционного измерения концентрации и дозы ионов. Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Гидрометеоздат. Ленинград, 1973, с 63.
10. Транспортные потери легких ионов в воздуховодах. Ученые за-

писки Тартусского Госуниверситета. Тарту, 1973, вып. 320, с 265-275.

11. О механизме движения легких ионов через теплообменник. Ученые записки Тартусского Госуниверситета. Тарту, 1973, вып. 320, с 276.

12. Применение искусственно ионизированного воздуха в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Тезисы докладов семинара "Радиоактивные изотопы. Радиозотопная техника-средство автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности". Госкомитет по использованию атомной энергии СССР (Всесоюзное объединение "Изотоп") М, 1973, с 7-8.

Основные разделы работы доложены на:

1. Всесоюзных совещаниях отраслевого НТС электротехнической промышленности (Одесса 1970 год и г. Севастополь 1971 г.).
2. Республиканской научной конференции "Повышение эффективности процессов и оборудования холодильной и пищевой промышленности". (секция кондиционирования воздуха) Ленинград, 1971.
3. Всесоюзном семинаре "Электрические методы изучения аэрозолей" 1971 г. г. Тарту.
4. Научно-технической конференции Челябинского института механизации сельского хозяйства. Челябинск, 1972 г.
5. Семинаре "Радиоактивные изотопы и радиозотопная техника-средство автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности". Госкомитет по использованию атомной энергии СССР (Всесоюзное объединение "Изотоп"), Одесса 1973 г.
6. Шестом Всесоюзном научно-техническом совещании "Проектирование и расчет систем кондиционирования воздуха промышленных, общественных и жилых зданий", Ростов-на-Дону, 1973 г.
7. Всесоюзном симпозиуме по атмосферному электричеству. Ленинград, 1973 г.
8. Городском научном семинаре "Кибернетика и автоматическое управление". Одесса, 1972, 1974 г.
9. Научных конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности. Одесса, 1969-1974 г.