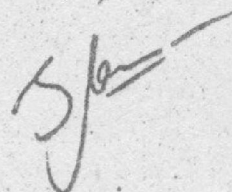


Автор едр.  
132

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ЛАШМАНОВ Владимир Иванович



ПРИМЕНЕНИЕ ИОНИЗИРОВАННОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Специальность 05.18.12 – процессы, машины и агрегаты  
пищевой промышленности

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Одесса – 1992

Работа выполнена в Одесском технологическом институте  
пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Научный руководитель

доктор технических наук,  
профессор Наремский Н.К.

Научный консультант

кандидат технических наук,  
доцент Монтик П.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор Дударев И.Р.

кандидат технических наук,  
Беспалов И.Н.

Ведущее предприятие - Одесское научно-производственное  
объединение "Пищепромавтоматика"

Защита диссертации состоится "17" апреля 1992 г.  
в 10<sup>30</sup> часов на заседании специализированного совета К 068.35.02  
в Одесском технологическом институте пищевой промышленности  
им. М.В.Ломоносова, 270039, г.Одесса, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломо-  
носова.

Автореферат разослан "16" мая 1992 г.

Ученый секретарь

Л.М.Карнаушенко

12

v 016968

ОНАХТ

02.07.12

Применение ионизиров



v016968

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Интенсификация процессов пищевых производств тесным образом связана с применением новых технологий, и здесь важную роль играет получившая в последнее время широкое распространение электронно-ионная технология (ЭИТ).

Разнообразное практическое применение ЭИТ в пищевой промышленности связано с использованием в технологических процессах электрических полей и заряженных частиц; в частности, аэроионов. Они применяются в процессах электросепарации и электросмешивания пищевых продуктов, при их сушке, для обеспыливания воздуха в производственных цехах, снижения содержания микроорганизмов в воздухе при изготовлении и консервировании пищевых продуктов, интенсификации желательных и ингибирования нежелательных биохимических процессов, увеличения сроков хранения пищевого сырья, обеспечения санитарно-гигиенических норм на рабочих местах, в жилых помещениях и рекреационных зонах. При выполнении определенных технологических операций требуется создание соответствующего ионного состава воздушной среды в рабочих объемах аппаратов, что вызывает необходимость разработки методов расчета как ионного состава, так и систем ионизации воздуха (СИВ), включающих в себя образование, транспортирование и распределение аэроионов. Это в свою очередь вызывает необходимость в составлении математических выражений, позволяющих с достаточной для практики точностью определять параметры аэроионного состава среды (концентрацию ионов, их подвижность, коэффициент униполярности) при различных способах и условиях получения, транспортировки и раздачи ионов.

Одним из аспектов применения ионизированного воздуха является электронно-ионная обработка (ЭИО) при производстве пищевых дрожжей. Несмотря на значительное число работ в этой области, оптимальные режимы ЭИО дрожжей, позволяющие интенсифицировать процесс накопления их биомассы, не разработаны, кроме того, традиционные методы контроля прироста биомассы достаточно трудоемки и не позволяют оперативно управлять режимами обработки. В связи с этим разработка интенсивных технологических процессов ЭИО пищевых продуктов, в частности, дрожжей, является актуальной.

Цель работы - разработка методов расчета СИВ и интенсификация с помощью ЭИО биохимических процессов при производстве хлебопекарных дрожжей. Для достижения поставленной цели решаются задачи:

- создание аэроионов и расчет их потерь при транспортировке в металлических и диэлектрических воздуховодах, определение условий оптимального транспортирования;
- нахождение распределения ионов в приточных струях при различных способах подачи воздуха к обрабатываемым объектам;
- диагностика кинетики изменения биомассы хлебопекарных дрожжей под влиянием ЭИО;
- определение оптимальных режимов ЭИО маточных хлебопекарных дрожжей, обеспечивающих их наиболее интенсивный рост.

Методы исследования базируются на использовании законов электрогазодинамики дисперсных сред, аналитических и численных (с помощью ЭВМ) методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики, теории вероятностей и математической статистики, многофакторного планирования эксперимента, кондуктометрического метода дисперсионного анализа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработаны методы расчета СИВ, позволяющие определять параметры ионизированной воздушной среды;
- получены выражения, позволяющие рассчитывать потери легких ионов при их транспортировании в металлических воздуховодах, определены условия оптимального транспортирования;
- решена задача распределения ионов в самосогласованном поле при их движении в диэлектрических трубах, разработаны алгоритмы и программы расчета электрических полей и значений поверхностного и объемного зарядов, на основе которых даны рекомендации по наилучшему использованию диэлектрических воздуховодов;
- получены закономерности распределения концентрации ионов в свободной струе и в воздушных потоках, вытекающих из перфопанелей, теоретически обоснована точность измерений концентрации ионов счетчиками с продуваемыми сетками;
- предложен критерий эффективности ЭИО маточных дрожжей, связанный с определением кинетики изменения массового распределения дрожжевых клеток многоканальными кондуктометрическими счетчиками, получены выражения, позволяющие рассчитывать погрешность измерений такими счетчиками;
- установлены оптимальные режимы ЭИО хлебопекарных маточных дрожжей, обеспечивающие увеличение выхода их биомассы.

Практическая ценность работы. Результаты исследований позволяют с достаточной для практики точностью производить расчет СИВ с целью получения требуемого ионного состава воздуха в рабочих

объемах аппаратов и системах жизнеобеспечения, рассчитывать транспортные потери ионов и ионизационную способность ионизаторов, распределение ионов в турбулентных струях и замкнутых объемах при различных способах и условиях транспортирования и воздухообмена, вычислять погрешности измерений концентрации ионов аспирационными счетчиками и концентрации, гранулометрического и массового распределения дисперсных частиц кондуктометрическими счетчиками, определять оптимальные режимы ЭИО с целью интенсификации биохимических процессов в пищевых производствах.

Проверка в промышленных условиях основных теоретических положений, а также внедрение полученных результатов осуществлены в Одесском производственном объединении пиво-безалкогольной промышленности для интенсификации процесса солодоращения (ожидаемый экономический эффект составляет 20 тыс. руб. в год) и в ЦНИИ "Тайфун" г. Николаева для создания оптимального ионного состава воздушной среды технологических помещений систем жизнеобеспечения.

Апробация работы. Основные положения докладывались и обсуждались на всесоюзных конференциях: "Механика сыпучих материалов" (Одесса, 1975, 1991), "Аэрозоли" (Ереван, 1977), "Пути повышения эффективности исследований" (Николаев, 1978), "Применение ЭИТ в нар. хоз-ве" (Тбилиси, 1978, Москва, 1991), "Электрофиз. методы обработки пищевых продуктов" (Москва, 1985), "Применение аппаратов порошковой технологии в нар. хоз-ве" (Томск, 1987), "Физика и техника монодисперсных систем" (Москва, 1988), "Технология сыпучих материалов" (Ярославль, 1989), "Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем" (Одесса, 1989); всесоюзном семинаре "Электрические методы изучения аэрозолей" (Тарту, 1976), всесоюзном совещании "Приборы для генерации и контроля параметров аэрозолей и аэроионов" (Ленинград, 1988), региональной межвузовской конференции "Науч.-тех. и соц.-экон. проблемы агропром. комплекса" (Одесса, 1989), научных конференциях ОТИИИ им. М. В. Ломоносова (Одесса, 1972-1989).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 33 работы.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, библиографии из 188 наименований и приложений. Изложена на 129 страницах машинописного текста.

На защиту выносятся научные положения: методы расчёта СИВ; закономерности распределения ионов в рабочих объёмах аппаратов и математические выражения, позволяющие определять параметры ионизированного воздуха; установление оптимальных режимов ЭИО маточных дрожжей по изменению массового распределения дрожжевых клеток.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводится литературный обзор применения ЭИТ в пищевой и других отраслях промышленности. Рассмотрены вопросы получения, переноса и измерения лёгких ионов, определяющих эффективность ЭИО. Оптимизация режимов ЭИО позволяет интенсифицировать ряд технологических процессов, протекающих в пищевых производствах.

Анализ применения аэроионизации в технологических процессах пищевой промышленности с целью их интенсификации выявил необходимость в расчёте СИВ, включающих в себя генерацию, транспортирование, распределение и контроль ионов в рабочих объёмах аппаратов. Интенсивность биохимических процессов при производстве пищевых продуктов определяется, в частности, концентрацией и дисперсным составом клеток дрожжей и бактерий, что позволяет использовать кондуктометрический метод дисперсионного анализа.

Во второй главе изложены результаты исследований по созданию аэроионов и последующему их транспортированию.

Для генерирования ионов применяли проточные коронные ионизаторы типа игла-цилиндрическая поверхность (кольцо). Поток воздуха, удаляющий объёмный заряд внешней области короны, не только служит естественным транспортом ионов, но и повышает производительность ионизатора, при этом они часто встраиваются в воздухо воды.

В металлических воздуховодах происходит изменение концентрации ионов под действием электростатических сил, рекомбинации, диффузии, воссоединения с тяжёлыми ионами и прилипания к нейтральным ядрам. Составленная система уравнений, описывающих изменение  $n^+$  и  $n^-$  при произвольном  $\varphi_0$ , сводится к уравнению вида  $[\psi + E(\lambda)]\psi' = I$ , решение которого зависит от вида функции  $E(\lambda)$  и в общем случае не выражается в квадратурах. Показано, что транспортные потери лёгких ионов в основном определяются эффектами электростатического рассеяния и рекомбинации, и решение упомянутой системы сводится к бинному дифференциалу, который после интегрирования выражается через суммы быстроходящихся рядов. Так, для  $\varphi_0 \geq 0,5$ ,  $\beta/\alpha > 1$ :

$$z = \frac{\omega}{\alpha n_0^+} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^m}{[(1-\varphi_0)/\varphi_0]^m [m(1-\beta/\alpha)-1]} \left[ \left( \frac{n^+}{n_0^+} \right)^{m(1-\beta/\alpha)-1} - 1 \right], \quad (1)$$

$$n^- = n^+ \left[ 1 + \frac{1-\varphi_0}{\varphi_0} \left( \frac{n^+}{n_0^+} \right)^{\beta/\alpha-1} \right]. \quad (2)$$

При определённых значениях  $k$  ряды свёртываются в элементарные функции. Из решения, в частных случаях, вытекают известные

выражения, описывающие изменение  $n$  в силу отдельных причин.

На основе анализа построенных зависимостей  $n(z)$  сделан важный практический вывод о том, что для уменьшения потерь ионы с соотношением  $\beta/\alpha > I$  ( $K > 0,88 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ) выгодно транспортировать со спутным потоком ионов противоположного знака, а при  $\beta/\alpha < I$  — униполярно. Рассмотрен физический смысл отношения  $\beta/\alpha$  для ионов любой подвижности, исходя из чего объясняются полученные результаты, а также различие в транспортных потерях ионов разного знака.

Проверка полученных результатов была осуществлена на экспериментальной установке для измерения средней концентрации ионов вдоль воздуховода с помощью разработанного счётчика ионов с продуваемыми сетками. Экспериментальные данные с точностью до 20% совпадают с теоретическими.

При использовании диэлектрических воздухопроводов объёмный заряд ионов создаёт поле, а значит, и связанный заряд на поверхности диэлектрика, который в свою очередь изменяет поле внутри трубы и траектории движения ионов, следовательно, распределение объёмного заряда и связанное с ним самосогласованное поле.

Составленная система 3-х уравнений Пуассона для потенциалов внутри и снаружи трубы и в диэлектрике с помощью граничных условий сводится к краевой задаче Дирихле. Найденные в результате решения поля позволяют определить поверхностную плотность заряда:

$$\sigma(z) = -\frac{3\sqrt{2}}{4\pi\epsilon} \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)}{\epsilon+2} \sum_{n=1}^{\infty} n M_n [D_n K_1\left(\frac{n\sqrt{2}R}{e}\right) - I_1\left(\frac{n\sqrt{2}R}{e}\right)] \sin \frac{n\pi z}{e}, \quad (3)$$

где  $M_n$  и  $D_n$  — коэффициенты, зависящие от  $\varphi$  и параметров трубы,  $I_1$  и  $K_1$  — модифицированные функции Бесселя и Ганкеля.

Поле внутри трубы, созданное заряженной поверхностью, выражается через эллиптические интегралы  $K(p)$  и  $E(p)$ :

$$\vec{E}(r, z) = \vec{e}_r \frac{R}{2\pi\epsilon_0 r} \int_0^e \frac{1}{\sqrt{(R+r)^2 + (z-z')^2}} \left[ K(p) - \frac{R^2 - r^2 + (z-z')^2}{(R-r)^2 + (z-z')^2} E(p) \right] \sigma(z') dz' + \\ + \vec{e}_z \frac{R}{\pi\epsilon_0} \int_0^e \frac{(z-z') E(p) \sigma(z') dz'}{[(R-r)^2 + (z-z')^2] \sqrt{(R+r)^2 + (z-z')^2}}. \quad (4)$$

Из уравнения сохранения заряда найдена связь траектории движения ионов и  $\rho(r, z)$  с суммарным полем поверхностного и объёмного зарядов. Полученная замкнутая система решена методом последовательных приближений. Итерационный процесс расходится — величи-

на  $\rho$  стремится к бесконечности, другими словами, ионы останавливаются. Построенные распределения потенциала и поля внутри трубы объясняют создание так называемой электрической пробки для ионов.

Проведенные эксперименты подтвердили низкую эффективность использования диэлектрических воздухопроводов для транспортирования ионов без проведения антистатической защиты.

В третьей главе изложены результаты исследований по распределению ионов в рабочих объемах при некоторых способах подачи ионизированного воздуха, а также по контролю его параметров.

При подаче воздуха через цилиндрическое отверстие образуется свободная утопленная струя. Составлены и решены дифференциальные уравнения, описывающие изменение  $n$  при турбулентном размывании струи на различных её участках благодаря рекомбинационным эффектам. Так, для основного участка

$$n(z) = n_0 \left[ (1 + 3,4 a z / R_0) (0,64 + 1,5 \lambda n_0 z / \omega_0) \right]^{-1}, \quad z \geq 0,67 R_0 / a \quad (5)$$

При  $\varphi_0 \neq 1$  пространственный заряд отличен от нуля, и концентрация ионов изменяется благодаря их взаимному расталкиванию. Для униполярной зарядки (рекомбинация - стоки - отсутствует) из уравнения непрерывности для установившегося движения ионов  $\text{div}(\rho \vec{v}) = \rho \text{div} \vec{v} + \vec{v} \text{grad} \rho = 0$  ( $\vec{v} = \vec{\omega} + k \vec{E}$ ), принимая во внимание  $\text{div} \vec{E} = \rho / \epsilon_0$  и пренебрежимо малую величину поперечной составляющей скорости воздуха, получено уравнение для плотности заряда, из решения которого найден профиль ионного пучка и определена концентрация ионов на различных участках струи. Из анализа полученных выражений следует, что расширение ионного пучка за счёт электростатических сил становится существенным при значениях  $\lambda n_0 / \omega_0 > 3 \cdot 10^7 \text{ В}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ , что соответствует  $n_0 > 10^5 \text{ см}^{-3}$ . При меньших  $n_0$  определяющим является турбулентное размывание.

Решены также уравнения, описывающие изменение  $n$  благодаря турбулентному размыванию струи и воссоединению с тяжёлыми ионами и нейтральными ядрами.

Из сравнительного анализа зависимости  $n(z)$  следует, что изменение концентрации ионов в струе благодаря рекомбинации при биполярной зарядке ( $\varphi_0 = 1$ ) одного порядка с изменением  $n$  благодаря электростатическому расталкиванию в униполярном случае ( $\varphi_0 = 0$  или  $\infty$ ). Эффекты воссоединения с тяжёлыми ионами и нейтральными частицами оказывают заметное влияние на потери ионов при концентрациях последних меньше  $10^5 \text{ см}^{-3}$ , т.е. при таких, при которых можно не учитывать электростатического рассеяния струи.

Рассмотрены вопросы подачи ионизированного воздуха из отверстий, затенённых решётками (перфопанелей). При этом в схему струи вводится участок формирования, и расчёт потоков с достаточной для практики точностью может быть произведён по полученным формулам, если за начальные значения скорости воздуха и концентрации ионов принять их величины в конце участка формирования.

Экспериментально получены распределения ионов в свободной струе и в замкнутых объёмах при подаче воздуха через перфопанели при различных значениях  $\omega_0$ ,  $\rho_0$  и  $\varphi_0$ . Полученные данные удовлетворительно согласуются с теоретическими зависимостями. Ионная концентрация определялась с помощью счётчика с продуваемыми сетками.

Уточнена теория метода измерения такого рода счётчиками. Выведены формулы, позволяющие учесть совместное искажающее действие индуцируемого на обкладках измерительного конденсатора заряда и рекомбинации ионов на погрешность измерений, а также влияние на неё диффузии и адсорбции. Получены уравнения вольт-ампер. I характеристики счётчика как при измерении моноомобильных ионов, так и при наличии спектра их подвижностей  $n(k)$ . Показано, что при двух сортах ионов с подвижностями  $K_1$  и  $K_2$  ( $K_1 \gg K_2$ ) и соответствующими концентрациями  $n_1$  и  $n_2$ , относительная ошибка в определении  $n_1$ :

$$\delta_{n_1} = (n_2/n_1)(k_2/k_1)^2 \quad (6)$$

При измерении концентрации лёгких ионов с подвижностью в интервале  $(K_1, K_2)$ , ошибка, вызванная наличием тяжёлых  $(K_3, K_4)$ :

$$\delta_1 = E^2 \int_{k_3}^{k_4} \frac{\partial N}{\partial k} k^2 dk / [\omega_0^2 n(k_1, k_2)] \quad (7)$$

причём оптимальной является величина напряжённости поля  $E = \omega_0/k_1$ .

На основании вышеизложенного разработан аспирационный счётчик, экспериментальные вольт-амперные характеристики которого согласуются с рассчитанными зависимостями.

В четвёртой главе изложены результаты исследований ЭИО хлебопекарных дрожжей с использованием рассмотренного во второй главе проточного коронного ионизатора. Обрабатываемые маточные дрожжи культуры *Sacch. cerevisiae* находились в чашках Петри, которые располагались под помещенным в трубу ионизатором (рис. I), таким образом, возникала рассмотренная выше турбулентная струя, что, кроме электростимулирования дрожжей, способствовало их аэрации. Параметры ионизированного воздуха контролировались разработанным счётчиком.

Были исследованы различные режимы ЭИО дрожжей (смыва двухсу-

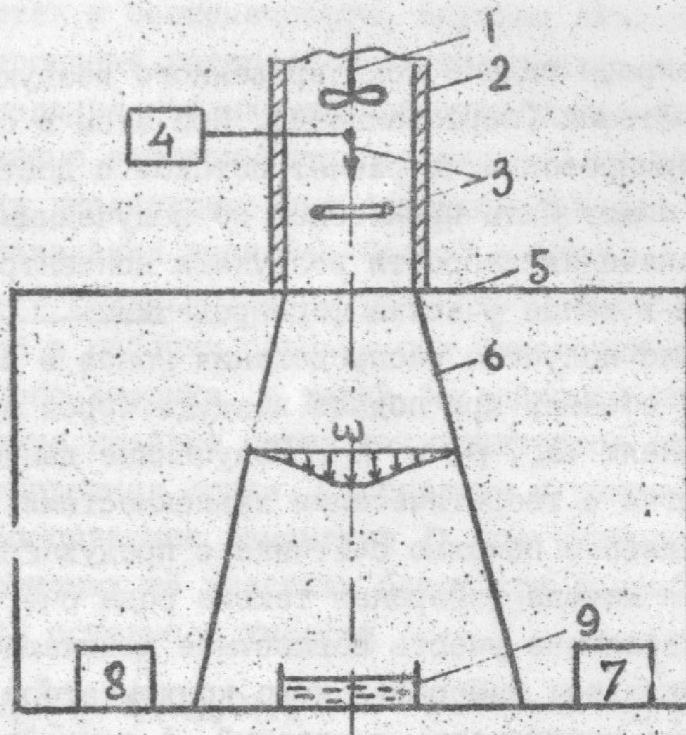


Рис.1. Схема экспериментальной установки для ЭИО маточных дрожжей: 1 - воздуходувка, 2 - металлическая труба (воздуховод), 3 - ионизатор типа игла-кольцо, 4 - высоковольтный источник, 5 - экспериментальный бокс, 6 - турбулентная струя, 7 - счетчик ионов, 8 - электроанемометр, 9 - чашка Петри с обрабатываемыми дрожжами.

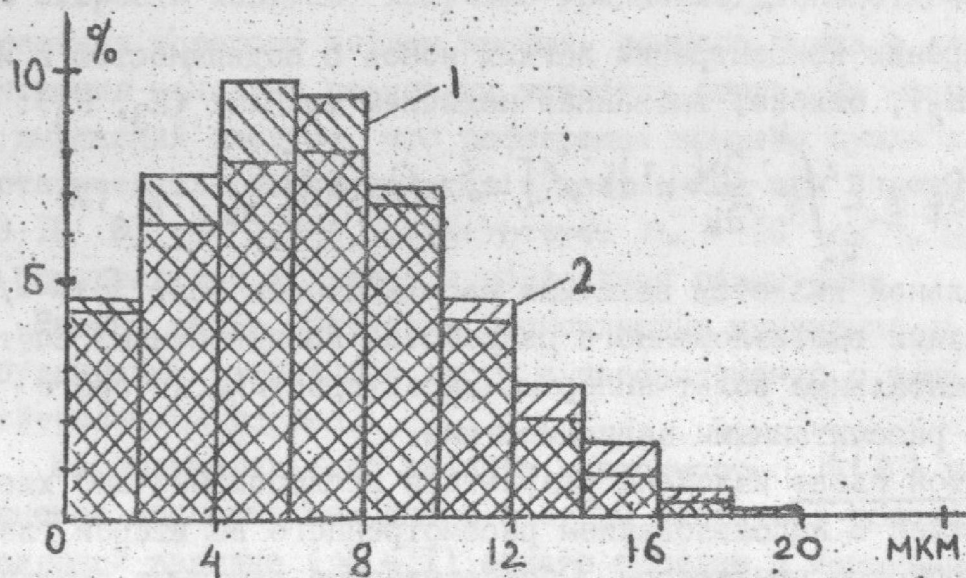


Рис.2. Дисперсный состав дрожжевых клеток:

1 - контрольная партия (средний размер  $\bar{x} = 5,14$  мкм, стандартное отклонение  $\sigma = 3,59$  мкм, коэффициент вариации  $\gamma = 0,7$ , мода  $M_0 = 5,0$  мкм, медиана  $M_e = 5,0$  мкм);

2 - облучение отрицательными ионами  $2 \cdot 10^6 \cdot \text{см}^{-3}$ , 30 с ( $\bar{x} = 6,19$  мкм,  $\sigma = 4,97$  мкм,  $\gamma = 0,80$ ,  $M_0 = 7,0$  мкм,  $M_e = 5,0$  мкм)

точной сусло-агаровой культуры) - изменялось время обработки, концентрация ионов, коэффициент униполярности (контрольная партия обдувалась воздухом при выключенном напряжении). Об изменении репродуктивной способности дрожжевых клеток судили по изменению их концентрации и дисперсного состава с помощью разработанного прибора, основанного на кондуктометрическом методе дисперсионного анализа.

Кондуктометрический метод измерений характеризуется так называемыми ошибками совпадения в измерительном объёме датчика (длиной  $l$ ). Показано, что в связи с этим статистические веса  $K$ -кратного уменьшения действительной концентрации  $N$  и  $K$ -кратного увеличения реального размера частиц соответственно будут

$$P_{K-} = \left(\frac{ln^{1/3}}{2}\right)^{K-1} \left(1 - \frac{ln^{1/3}}{2}\right); \quad P_{K+} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^2} \cdots \frac{1}{2^{K-2}} \left(\frac{ln^{1/3}}{2}\right)^{K-1} \left(1 - \frac{ln^{1/3}}{2}\right). \quad (8)$$

Маточные дрожжи, подвергнутые ЭИО, а также контрольная партия исследовались на различных фазах роста по 16-ти размерным классам, при этом фиксировалось количество клеток, зарегистрированных в течение анализа в каждом классе (канале), что позволяло судить не только об изменении их дисперсного состава, но и о приросте (абсолютном и относительном) их биомассы. Изменение биомассы дрожжей соответствует изменению "массы выборки", ошибка в определении которой  $N$ -канальным прибором, как показано, будет

$$\delta_m = 0,5 \left\{ n_1 - \frac{\epsilon}{\Delta x} (n_2 - n_1) + (2N-1) \left[ n_N - \frac{\epsilon}{\Delta x} (2N-1)^2 (n_{N-1} - n_N) \right] + \sum_{i=2}^{N-1} (2i-1) \left[ n_i - \frac{\epsilon}{\Delta x} (2i-1)^2 \left( \frac{n_{i-1} + n_{i+1}}{2} - n_i \right) \right] \right\} / \sum_{i=1}^N (2i-1) [1 + 2i(i-1)] n_i, \quad (9)$$

здесь  $n_i$  - количество частиц в  $i$ -м классе,  $\Delta x$  - шаг ширины,  $\epsilon$  - аппаратная погрешность.

Об эффективности воздействия ЭИО на процесс роста дрожжей можно судить по относительному изменению массы выборок обработанной ( $m$ ) и контрольной ( $m_k$ ) партий, а именно по безразмерному параметру  $y = m/m_k$ , который и использовался в качестве отклика при многофакторном планировании эксперимента. Анализ позволил остановиться на двух независимых факторах для процесса оптимизации - концентрации лёгких аэроионов ( $\tilde{x}_1$ ) и времени обработки ( $\tilde{x}_2$ ).

Был проведён полный факторный эксперимент  $2^2$ . Методом кругового восхождения получено следующее уравнение регрессии в кодированных переменных вблизи области оптимума:

$$y = 1,20 + 7,5 \cdot 10^{-3} x_1 + 2,5 \cdot 10^{-3} x_2 - 2,5 \cdot 10^{-3} x_1 x_2, \quad (10)$$

что, принимая во внимание рассмотренную выше точность измерений,

позволило определить следующие оптимальные параметры обработки хлебопекарных маточных дрожжей *Sacch. cerevisiae* - облучение отрицательными ионами концентрации  $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$  в течение 30 с. При этом прирост биомассы по сравнению с контролем составил 20%.

Результаты анализа дисперсного состава дрожжевых клеток на экспоненциально-логарифмической фазе роста приведены на рис.2.

С накоплением биомассы дрожжей связано и образование высших спиртов в процессе брожения ЭЮ, стимулируя рост дрожжей, интенсифицирует процесс их брожения, в частности, при получении пива.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Получены выражения описывающие изменение концентрации лёгких ионов вследствие совместного действия рекомбинации, электростатического рассеяния, диффузии, воссоединения с тяжёлыми ионами и прилипания к нейтральным частицам и позволяющие определить закономерности распределения ионов вдоль металлического воздуховода, достаточно хорошо совпадающие с экспериментальными данными.

2. Установлено, что для уменьшения потерь лёгкие ионы с подвижностью, превышающей  $0,88 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ , выгодно транспортировать в металлическом воздуховоде со спутным потоком ионов противоположного знака, аэроионы же меньшей подвижности - униполярно.

3. Решена задача описания взаимосвязи плотности объёмного и поверхностного зарядов и самосогласованного электрического поля для случая транспортировки ионов в диэлектрических воздуховодах. Разработаны алгоритмы и программы расчёта распределения ионов внутри трубы и её поверхностного заряда.

4. Теоретически показано и экспериментально подтверждено, что в диэлектрических воздуховодах для ионов возникает "электрическая пробка", препятствующая их прохождению, для устранения чего требуется проводить антистатическую защиту.

5. Установлены закономерности изменения концентрации ионов в свободной утолщенной воздушной струе за счёт рекомбинационных эффектов и турбулентного размывания. Для расчёта ионизированных потоков, вытекающих из затенённых отверстий; (в частности, перфораций) полученные формулы модифицируются.

6. Найден профиль ионного пучка и распределение ионов в струе в случае, когда к турбулентному размыванию добавляется действие объёмного заряда (электростатическое рассеяние). Показано, что расширение ионного пучка за счёт этого эффекта становится существенным при значениях  $k[n_0^- - n_0^+]/\omega_0 \geq 3 \cdot 10^7 \text{ В}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ .

7. Получены выражения, позволяющие определять ошибки измерения концентрации ионов счётчиками с продуваемыми сетками, а также концентрации, размеров частиц и их массового распределения многоканальными кондуктометрическими счётчиками; разработаны соответствующие приборы.

8. Установлена кинетика роста хлебопекарных дрожжей под действием ЭИО, о накоплении их биомассы предложено судить по дифференциальному массовому распределению дрожжевых клеток, полученному с помощью кондуктометрического анализатора дисперсности.

9. Определены оптимальные условия ЭИО хлебопекарных маточных дрожжей культуры *Sacch. cerevisiae*: наиболее интенсивный рост дрожжевых клеток происходит после их обработки лёгкими отрицательными ионами концентрации  $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$  в течение 30 с, при этом прирост биомассы по отношению к контрольной партии составлял 20%.

10. Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке систем регулируемых газовых сред и кондиционирования воздуха, электрофильтров, аэроионизации с целью интенсификации биохимических и физических (сушка) процессов, а также продления сроков хранения пищевых и сельскохозяйственных продуктов. Внедрение полученных результатов позволило создать оптимальный ионный состав воздуха в системах жизнеобеспечения ЦНИИ "Тайфун" г. Николаева и в рабочих объёмах аппаратов в Одесском производственном объединении пиво-безалкогольной промышленности, при этом ожидаемый годовой экономический эффект составляет 20 тыс. руб.

Условные обозначения (кроме оговоренных в тексте):  $k$  - подвижность иона,  $q$  - его заряд,  $\rho$  - плотность объёмного заряда,  $n$  - концентрация лёгких ионов,  $\varphi_0$  - коэффициент униполярности,  $N$  - концентрация тяжёлых ионов,  $\alpha$  - коэффициент рекомбинации,  $\beta = kq/\epsilon_0$ ,  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость материала воздуховода,  $R$  и  $l$  - его радиус и длина,  $\omega$  - скорость воздуха вдоль оси  $z$ ,  $R_0$  - радиус выпускного отверстия,  $a$  - коэффициент турбулентности струи.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Наремский Н.К., Монтик П.Н., Лашманов В.И. Вопросы изменения линейных размеров тонкодисперсных порошков // Тез. докл. III Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов". - Одесса, 1975. - С. 82.
2. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Коновалов С.А. Транспортирование заряженных высокодисперсных аэрозолей // Материалы физ.-хим.

пром-ной и приборной секции III Всесоюз. конф. по аэрозолям. Ереван, 12-14 октября 1977г. - М.: Наука, 1977. - С.53-55.

3. Коновалов С.А., Лашманов В.И., Монтик П.Н. Об оптимальных условиях транспортирования ионизированного воздуха // Пути повышения эффективности и качества исследований и разработок судовых систем кондиционирования воздуха: Тез. докл. Всесоюз. науч.-тех. конф. - Николаев, 1978. - С.74-77.

4. Монтик П.Н., Лашманов В.И. Совместное влияние рекомбинации и электростатического рассеяния на параметры ионизированного воздуха при его транспортировании // Изв. АН МССР, серия физ.-тех. и мат. наук. - 1978. - №3. - С.56-63.

5. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Коновалов С.А. Выбор материала воздухопроводов и расчёт потерь ионов при их транспортировании // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по применению ЭИТ в нар.хоз-ве. Тбилиси, 24-27 октября 1978г. - М.: Информэлектро, 1978. - С.32-34.

6. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Коновалов С.А. Транспортирование ионизированного воздуха с наименьшими потерями // Электронная обработка материалов. - 1979. - №3. - С.60-62.

7. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Влияние наведенного заряда и рекомбинации на результаты измерения концентрации ионов аспирационным конденсатором // Электричество. - 1979. - №4. - С.66-69.

8. Определение прочности сцепления напылённых плазменных покрытий / А.П.Соколов, В.И.Лашманов, А.А.Смирнов, В.В.Конюк // Сб. науч.тр. Саратовского ин-та механизации сельск.х.з-ва. - 1979. - Вып.195. - С.97-107.

9. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Коновалов С.А. Погрешности измерения концентрации ионов конденсатором с продуваемыми сетками // Изв.вузов.Приборостроение. - 1980. - Т.23. - №7. - С.60-64.

10. Монтик П.Н., Лашманов В.И. Камеры созревания твёрдых сыров // Материалы У Всесоюз. науч.-тех. конф. "Электрофиз. методы обработки пищевых продуктов". - М., 1985. - С.141-142.

11. Классификация пищевых порошковых материалов в комплексных электрических полях. / Н.К.Наремский, А.М.Алёшин, В.И.Лашманов, А.М.Тигарев // Там же. - С.192-193.

12. Предварительная подготовка пробы для микроскопического анализа в пищевой промышленности / А.М. Алёшин, А.М.Тигарев, В.И.Лашманов, Т.А.Бакуридзе // Там же. - С.250.

13. Наремский Н.К., Монтик П.Н., Лашманов В.И. Влияние режимных параметров аспирационного конденсатора на погрешность сепарации высокодиэлектрических порошков // Применение аппаратов порошковой

технологии и процессов термосинтеза в нар.хоз-ве: Тез.докл.Всесоюз. конф. - Томск, 1987. - С.72.

14. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Динамика заряженных частиц в турбулентных струях // Там же. - С.250.

15. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Исследование движения заряженных дисперсных систем в диэлектрических трубах // Там же. - С.233-235.

16. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Распределение концентрации ионов при раздаче воздуха в помещении турбулентными струями // Электронная обработка материалов. - 1987. - №5. - С.38-43.

17. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Погрешности, возникающие при диагностике потоков монодисперсных макрочастиц аэрозольными счётчиками // Физика и техника монодисперсных частиц: Тез.докл.Всесоюз.конф. - М., 1988. - С.99-101.

18. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Движение заряженных частиц по диэлектрическим трубам // Электронная обработка материалов. - 1988. - №4. - С.47-51.

19. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Уравнения вольт-амперной характеристики конденсатора с продуваемыми сетками // Электричество. - 1989. - №2. - С.85-87.

20. Наремский Н.К., Лашманов В.И., Алёшин А.М. Сепарация высокодисперсных пищевых порошков в совмещённых электрических полях // Соц.-экономич. и науч.-тех.проблемы агропром-ного комплекса: Тез.докл.обл.межвуз.науч.-практич.конф. - Одесса, 1989. - С.97.

21. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Подготовка пробы при определении счётной концентрации жировых частиц молока экспресс-методом. // Там же. - С.238.

22. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Морфологический и дисперсионный анализ пищевых порошков методом ортогональных проекций // Там же. - С.239.

23. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Расчёт совпадений в датчике при определении размеров и концентрации частиц кондуктометрическими и аэрозольными счётчиками. // Метрология. - 1989. - №9. - С.51-56.

24. Лашманов В.И., Наремский Н.К., Алёшин А.М. Теоретические основы классификации порошков в комплексных электрических полях // Технология сыпучих материалов: Тез.докл.Всесоюз.конф. - Ярославль, 1989. - Т.1. - С.44-45.

25. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Влияние законов распределения дисперсного состава на погрешность измерений кон-

центрации и размеров частиц аэрозольными счётчиками // Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем: Тез. докл. X Всесоюз. конф. - Одесса, 1989. - С. II.

26. Сравнительный анализ кондуктометрического и микроскопического методов определения дисперсности металлических порошков / Н.К. Наремский, А.М. Алёшин, В.И. Лашманов, А.М. Тигарев // Порошковая металлургия. - 1990. - №10. - С. II-13.

27. Классификация порошков в электрическом поле / В.И. Лашманов, А.М. Алёшин, Н.К. Наремский, А.М. Тигарев // Порошковая металлургия. - 1990. - №12. - С. 10-14.

28. Алёшин А.М., Лашманов В.И. Анализ дисперсности клеточных суспензий кондуктометрическим методом // Цитология. - 1991. - Т. 33. - №8. - С. 109-111.

29. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Индикация массового распределения частиц многоканальными анализаторами дисперсности // Механика сыпучих материалов: Тез. докл. V Всесоюз. конф. - Одесса, 1991. - С. 76.

30. Электроаэродинамическая классификация порошковых материалов / С.А. Коновалов, В.И. Лашманов, П.Н. Монтик, Н.К. Наремский // Там же. - С. 108.

31. Лашманов В.И., Монтик П.Н. Оптимальные режимы ЭМО в дрожжерастительном производстве // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по применению ЭИТ в нар. хов-ве. - М., 1991. - С. 58.

32. Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Исследование кондуктометрическим методом динамики роста и размножения дрожжевых клеток при их ЭМО // Электронная обработка материалов. - 1991. - №5. - С. 62-63.

Лашманов В.И., Монтик П.Н., Алёшин А.М. Погрешности определения массового распределения частиц кондуктометрическими счётчиками // Измерительная техника. - 1991. - №9. - С. 64-66.

№ 6. 16968

...ский т...  
...гут паш...  
...ности им. А. ...

БИБЛИОТЕКА