

Автореф.
К 14

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КАЛЕНДРО Евгений Львович

УДК 663.16+65-503.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЫРАЩИВАНИЯ ЧИСТОЙ
КУЛЬТУРЫ ДРОЖЖЕЙ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЭТИМИ ПРОЦЕССАМИ

Специальность 05.18.07 - автоматическое управление и
регулирование, управление тех-
нологическими процессами /про-
мышленность/

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Регистр 1982

Одесса - 1982

Работа выполнена в Киевском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте пищевой промышленности.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент В.Г.ТРЕГУБ

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Г.А.МОДЗИНСКИЙ;
- кандидат технических наук,
доцент Г.М.ЛОСКУТОВ

Ведущее предприятие - ордена Ленина Киевский институт
автоматики имени ХХУ съезда КПСС

Защита диссертации состоится "16" октября 1982 г. в
10³⁰ часов на заседании специализированного совета Д 068.35.01
при Одесском технологическом институте пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова /279089, г.Одесса, ул.Свердлова, 112/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ло-
моносова.

11 "сентября" 1982 года.

Ф.ЗАГИБАЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В соответствии с решениями XXVI съезда КПСС производство продуктов микробиологического синтеза в одиннадцатой пятилетке должно возрасти в 1,8-1,9 раза, причем особое внимание уделяется увеличению производства кормовых белков. Это обусловлено необходимостью обеспечения животноводства сбалансированными кормами и увеличения производства мясной продукции за пятилетие не менее чем на три миллиона тонн.

Основным источником кормового белка являются кормовые дрожжи, около 50% которых в СССР производится на гидролизных заводах, использующих в качестве субстрата продукты гидролиза древесины — отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности. Одним из путей повышения эффективности производства является создание АСУ ТП, разработка и внедрение которых проводится на ряде предприятий данной отрасли промышленности.

В работе рассматривается вопрос разработки системы управления одним из важных отделений специализированного крупнотоннажного завода по выпуску кормовых дрожжей — отделения чистой культуры, предназначенного для выращивания наиболее урожайного в конкретных производственных условиях штамма дрожжей и передачи его на посев в отделение ферментации. Производительность отделения чистой культуры завода мощностью 60000 тонн кормовых дрожжей в год достигает 4000-5000 тонн, что сопоставимо с производительностью ранее строящихся заводов. Однако до настоящего времени отсутствуют разработки системы управления отделением, учитывающие особенности его функционирования. Это не позволяет достаточно эффективно управлять процессом выращивания чистой культуры дрожжей, что ухудшает экономические показатели производства в целом.

✓ 013900
Одесский технологический
институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова

Цель исследований - разработка системы управления промышленным процессом выращивания дрожжей в отделении чистой культуры крупнотоннажного производства кормовых дрожжей. В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- исследование и анализ функционирования и свойств аппаратов отделения как управляемого объекта и выявления источников повышения эффективности его работы;
- выбор и обоснование критерия оптимальности;
- разработка метода и выбор средств контроля параметров процесса, необходимых для определения критерия управления;
- получение математической модели управляемого объекта;
- обоснование и разработка алгоритмической структуры системы управления отделением;
- проверка эффективности работы алгоритмов в производственных условиях;
- создание системы оптимального управления отделением чистой культуры;
- производственные испытания системы управления;
- реализация алгоритма управления на базе применяющихся в настоящее время средств локальной автоматизации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложены два варианта критерия управления отделением, вытекающие из анализа совместной работы отделений чистой культуры и ферментации, - концентрация активной биомассы и удельная производительность аппаратов отделения по активной биомассе дрожжей, и даны рекомендации по их применению;
- установлена возможность определения снижения содержания культивируемого штамма в производственных условиях по изменению метаболических коэффициентов выделения углекислого газа или пот-

ребления кислорода при росте биомассы;

- выявлена основная причина нестационарности управляемого объекта;

- разработан новый способ автоматического управления концентрацией остаточных редуцирующих веществ /РВ/ в аппарате.

Практическая ценность. На основании проведенных исследований определены возможные управляющие воздействия для оптимизации критерия и стабилизации концентрации остаточных РВ; разработаны алгоритмы оптимизации процесса, использующие полученные модели в качестве идентификатора объекта, а также варианты автоматической системы управления, реализующие данные алгоритмы при работе системы как в связанном с управляющей вычислительной машиной режиме, так и в автономном /локальная система/.

Реализация и внедрение результатов работы. Данная разработка использована в проекте АСУ ТП гидролизно-дрожжевого производства, разрабатываемой Киевским институтом автоматики им.ХХУ съезда КПСС. Разработана и внедрена система управления отделением чистой культуры Кировского биохимзавода производительностью 60000 тонн кормовых дрожжей в год.

Апробация работы. Основные этапы и результаты работы доложены и одобрены на секции управления микробиологическими процессами Всесоюзного микробиологического общества АН СССР во ВНИИ Антибиотиков /Москва, 1974/, конференции по проектированию АСУ ТП в микробиологической промышленности /Киев, 1977 г./, республиканских семинарах по автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности /Киев, 1975, 1977 гг./, республиканской конференции молодых ученых и специалистов по проблеме создания систем автоматизированного управления процессами в биохимической промышленности /Ташкент, 1975 г./, научных конференциях Киевского тех-

нологического института пищевой промышленности /Киев, 1973, 1974, 1976, 1980, 1981 гг./.

Публикации результатов. Основные положения диссертационной работы отражены в 7 опубликованных статьях, получены 2 авторских свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, приложений. Основное содержание изложено на 114 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков. Список литературы включает 207 источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Состояние вопроса и задачи исследования" на основе анализа основных требований, предъявляемых к производственным культурам дрожжей, и причин снижения содержания культивируемого штамма в производственных аппаратах определяется роль отделения чистой культуры как головного ферментера, обеспечивающего поддержание урожайной культуры в процессе производства кормовых дрожжей.

Процесс культивирования биомассы должен протекать на питательных средах, содержащих необходимые элементы питания и энергии, при стабилизации на оптимальном уровне комплекса физико-химических условий выращивания. Основной особенностью процесса является наличие культуры живых организмов, многообразие и сложность приспособительных реакций которых определяет такие свойства объекта как нелинейность и нестационарность.

В настоящее время отсутствуют разработки систем управления отделением чистой культуры, учитывающие особенности его функционирования, что существенно снижает технико-экономические показатели /ТЭП/ производства в целом. Отсутствуют также серийно выпускаемые

датчики основных качественных показателей процесса: концентрации биомассы, продуктивности, концентрации остаточных РВ в аппарате.

На основании проведенного в главе анализа обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель исследований и поставлены основные задачи, решаемые в диссертационной работе.

Во второй главе "Исследование процессов выращивания дрожжей чистой культуры как объекта управления" проведено изучение свойств объекта на примере отделения чистой культуры Кировского биохимического завода /КБХЗ/.

Изучение технологического регламента показало, что аппараты первых трех стадий отделения работают только в периодическом режиме. Включение их в работу осуществляется не чаще одного-двух в неделю при необходимости поддержания культуры в двух непрерывно действующих аппаратах четвертой стадии емкостью 320 м³ и 600 м³. Эффективность работы отделения в целом определяется работой этих аппаратов, обеспечивающих подсев в отделение ферментации.

В результате исследования работы систем стабилизации режимных параметров процессов установлено, что данная система не обеспечивает эффективного регулирования концентраций биомассы и остаточных РВ S . Как показал статистический анализ, выход значений концентрации S за пределы регламента приводит к снижению концентрации биомассы X в аппарате не менее чем на 17%.

Определение критерия управления отделением проведено в результате технико-экономического исследования совместной работы отделений ферментации и чистой культуры. Это вызвано рядом особенностей последнего: затраты на данной стадии не определяются, а включаются в себестоимость товарных дрожжей; все неиспользованные в отделении сахара направляются с засевными дрожжами в отделение ферментации, где служат источником накопления биомассы. Анализ

выполнен при использовании прибыли D в качестве критерия работы завода:

$$D = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (\psi - c) P_p d\tau, \quad /1/$$

где ψ , c - соответственно отпускная цена и себестоимость дрожжей;

P_p - производительность завода;

τ - время.

Из выражения для себестоимости C_ϕ дрожжей в отделении ферментации

$$C_\phi = \frac{\sum_i \psi_i P_i + Z_{yn}}{P_\phi}, \quad /2/$$

где ψ_i , P_i - соответственно, условные удельная стоимость и расход i -го элемента в отделение;

Z_{yn} - условно-постоянные затраты в отделении;

P_ϕ - производительность отделения,

следует, что при управлении отделением чистой культуры необходимо увеличивать подсев культивируемого штамма в аппараты отделения ферментации, повысив тем самым производительность последнего и снизив за счет этого себестоимость C_ϕ .

При прочих равных условиях производительность P_ϕ пропорциональна удельному выходу дрожжей Y_{yd} в отделении ферментации. В результате статистического исследования влияния подсева Π чистой культуры дрожжей на показатели работы отделения ферментации получено линейное уравнение регрессии:

$$Y_{yd} = a_0 + a_1 \Pi. \quad /3/$$

Значения коэффициентов a_0 и a_1 приведены в работе.

Анализ уравнения /3/ показал, что увеличение подсева на 1% приводит к росту удельного выхода /производительности/ в отделении ферментации на 3,8%. Следовательно, для улучшения ТЭП завода отделение чистой культуры должно обеспечить максимально возможный подсев биомассы дрожжей в отделение ферментации. В качестве критериев управления отделением в этом случае возможно использовать концентрацию активной биомассы $X_{об}$ или удельную производительность /продуктивность/ аппаратов по активной биомассе дрожжей G . Цель управления в последнем случае определяется как максимизация целевой функции при содержании культивируемого штамма η не ниже заданного, максимально возможном объеме среды в аппарате и стабилизации вектора A^* режимных параметров:

$$G \rightarrow \max \text{ при } \eta \geq \eta_{\min}; \quad V = V^* = V_{\max}; \quad /4/$$

$$(pH^*, t^*, S^*, C_{O_2}^*) = A^* \in \Omega_A,$$

где V, V^* — соответственно, действительное и заданное значения объема среды;

$pH^*, t^*, S^*, C_{O_2}^*$ — заданные значения pH, температуры, концентраций остаточных РВ и растворенного кислорода в среде.

Проведена декомпозиция исходной задачи управления с выделением стабилизируемых режимных координат и управляющих воздействий для оптимизации. Показано, что единственно возможными управляющими воздействиями являются изменения концентрации S_0 углеводного субстрата и коэффициента разбавления D .

Идентификация динамических свойств и моделей управляемого объекта по каналам стабилизации режимных параметров показала, что по каналам регулирования pH и температуры объект является линейным статическим, объема — линейным астатическим, концентрации остаточных РВ — нелинейным. Определено, что стабилизировать концент-

рацию S остаточных РВ необходимо изменением концентрации S_0 субстрата, так как данный канал регулирования обладает наименьшей инерционностью.

Экспериментально установлена нелинейность и нестационарность объекта по каналам управления концентрацией активной биомассы и продуктивностью. Для выявления причин нестационарности проведен анализ изменения этих показателей как случайного процесса при стабилизации параметров культивирования /рис.1/. Стрелками на сунке отмечено время отбора пробы для бактериологического определения содержания производственной культуры в биомассе. Значения η указаны в надписях у стрелок.

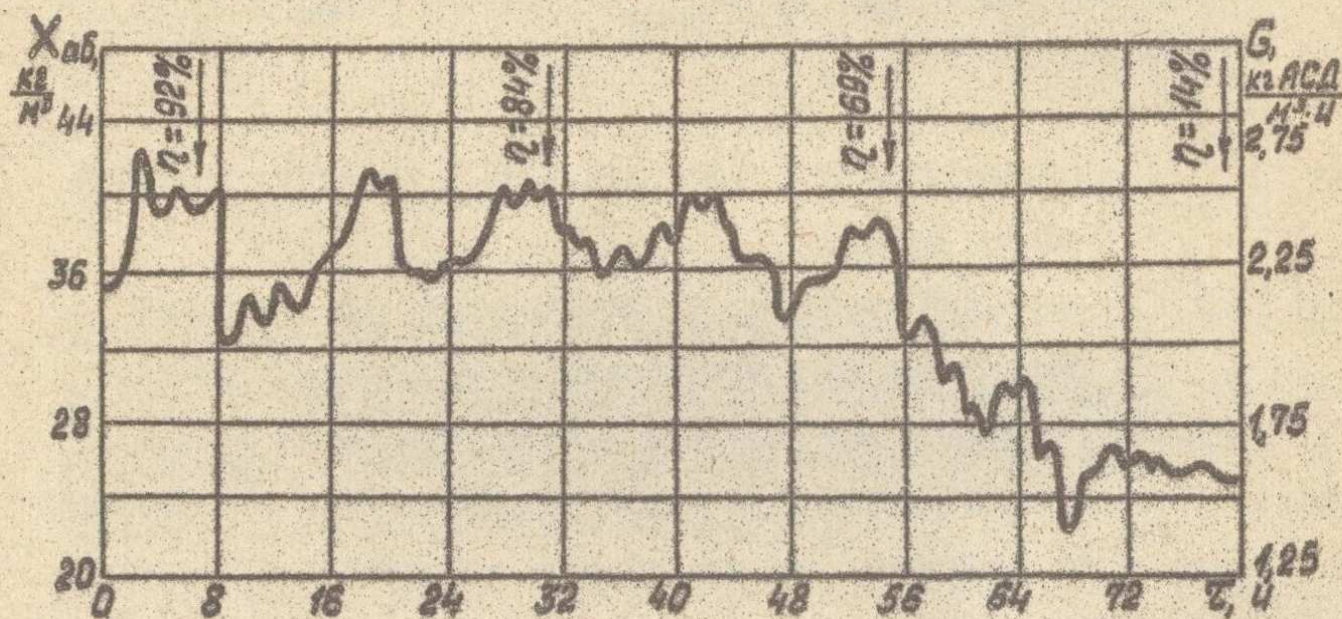


Рис. 1. Изменения концентрации активной биомассы и продуктивности в процессе культивирования.

По виду реализации выдвинута гипотеза, что, при содержании урожайной культуры в пределах регламента $\eta \geq 70\%$, процессе с достаточной для практических целей точностью является стационарным.

Проверялась стационарность по математическому ожиданию и корреляционной функции по выполнению условий:

$$|m_x(T) - m_x(T_H)| < \epsilon_x; \quad /5/$$

$$|R_{xx}(\tau, T) - R_{xx}(\tau, T_H)| < \epsilon_R; \quad T \leq T_H, \quad /6/$$

где $m_x(T), R_{xx}(\tau, T)$ — значения математического ожидания и корреляционной функции;

ϵ_x, ϵ_R — погрешности определения этих же параметров.

Условия /5/ и /6/ выполнялись для реализации длительностью T_H , соответствующей содержанию требуемого штамма $\eta \geq \eta_{мин}$. Это явилось основанием для вывода о стационарности процесса при относительном содержании культивируемого штамма в биомассе не ниже заданного.

Методом пассивного эксперимента получена статическая модель по каналу: коэффициент разбавления — концентрация активной биомассы, имеющая следующий вид:

$$X_{об} = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 \quad /7/$$

Значения коэффициентов b_0, b_1, b_2 приведены в работе.

В результате дальнейших исследований установлено, что не все культуры дрожжей имеют экстремум зависимости $X_{об}(D)$, поэтому в качестве критерия была выбрана продуктивность, имеющая экстремум зависимости $G(D)$ для любых культур и отвечающая цели функционирования отделения.

Разработка модели $G(D, S_0)$ проведена методом активного планируемого эксперимента. Для уменьшения длительности исследования принят насыщенный D -оптимальный план второго порядка. Полученная модель имеет следующий вид:

$$G = c_0 + c_1 D + c_2 S_0 + c_{11} D^2 + c_{22} S_0^2 + c_{12} D S_0 \quad /8/$$

Значения коэффициентов модели /8/ указаны в работе.

Анализ модели показал, что эффективным управляющим воздействием является лишь изменение коэффициента разбавления D , а допустимые по регламенту изменения концентрации S_0 приводят к изменению удельной производительности не более чем на 2%. С учетом этого и ранее проведенных исследований принято решение проводить оптимизацию процесса изменением коэффициента разбавления, а концентрацию S_0 использовать как управляющее воздействие для стабилизации концентрации S остаточных РВ.

При дополнительном экспериментальном исследовании подтвердился экстремальный характер модели $G(D)$:

$$G = b_{0G} + b_{1G}D + b_{2G}D^2 \quad /9/$$

Статистический анализ указал на адекватность модели /9/ с доверительной вероятностью 0,95.

В третьей главе "Разработка системы управления процессами выращивания дрожжей чистой культуры" проведен выбор способа измерения качественных показателей процесса, изложены вопросы разработки алгоритма управления и результаты его проверки.

В процессе лабораторных исследований на установке АНКУМ-2 Института микробиологии и вирусологии АН УССР подтверждена возможность определения продуктивности или концентрации X_{a6} в статическом режиме по выделению углекислого газа или потреблению кислорода биомассой дрожжей. Установлено, что в рабочем диапазоне изменения коэффициента разбавления D зависимость удельного расхода выделившегося углекислого газа G_{CO_2} или потребленного кислорода G_{O_2} от продуктивности культуры носит линейный характер /при стабилизации прочих параметров культивирования/. Экспериментальные точки и графики этих зависимостей представлены на рис.2.

Разработанный алгоритм управления концентрацией активной био-

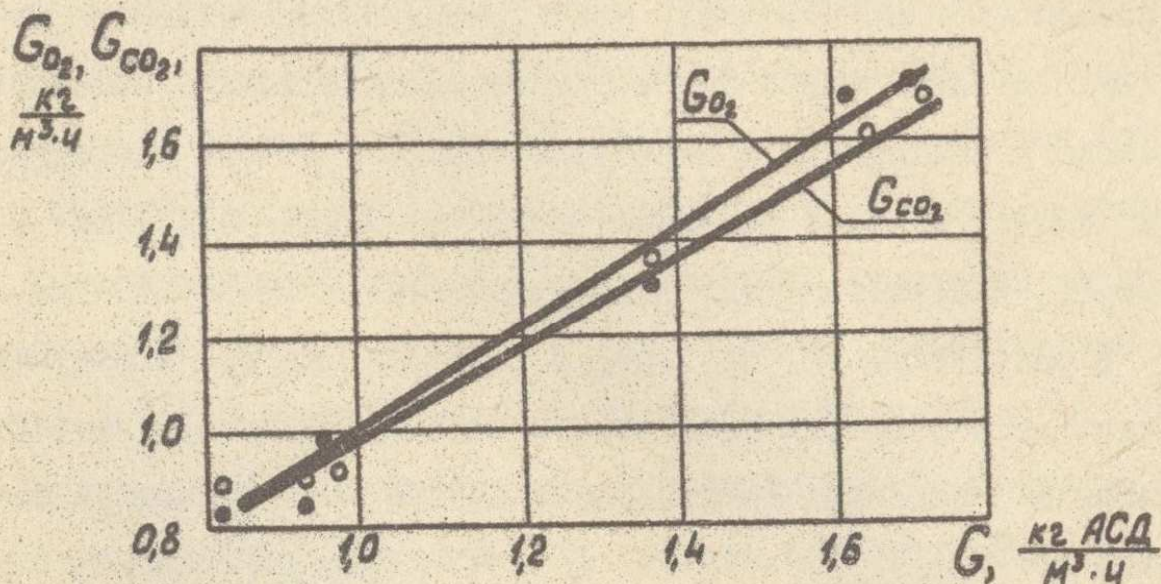


Рис. 2. Зависимость удельных расходов CO_2 и O_2 от продуктивности аппарата.

массы включает в себя подзадачи максимизации критерия и согласования производительностей отделений чистой культуры и ферментации. Для сокращения времени решения задачи оптимизации разработан поисковый алгоритм с использованием регрессионной модели /7/ в качестве идентификатора объекта. Сущность алгоритма заключается в следующем. После любого изменения коэффициента разбавления определяется значение первой производной $\frac{\partial X_{ab}}{\partial D}$, причем учитываются приращения этих параметров, как их разность на j -ом, и $j-1$ -ом шагах:

$$\frac{\partial X_{ab}}{\partial D} = b_1 + 2b_2 D_j \approx \frac{\Delta X_{ab}}{\Delta D} = \frac{X_{abj} - X_{abj-1}}{D_j - D_{j-1}}. \quad /10/$$

Из выражения /10/ определяется приращение ΔD , при котором на $j+1$ -ом шаге осуществляется выход в область экстремума

$$b_1 + 2b_2 D_{j+1} = b_1 + 2b_2 (D_j + \Delta D) = 0. \quad /11/$$

Одновременно решив уравнения /10/ и /11/, получаем:

$$\Delta D = \frac{X_{abj} - X_{abj-1}}{-2b_2 (D_j - D_{j-1})}. \quad /12/$$

Для уменьшения чувствительности к помехам, присущей системам с определением производной, в алгоритме предусмотрена фильтрация входных сигналов и введены ограничения по величине приращения управляющего воздействия. Последнее сближает данную систему с шаговыми, однако поиск с помощью модели уменьшает "рыскания" в зоне оптимума, характерные для шаговых систем.

В результате решения задачи согласования производительностей определяется заданное значение расхода суспензии $Q_{\partial c}^*$ из аппарата, связанное с заданной производительностью P^* известным соотношением $P^* = Q_{\partial c}^* X_{об}$.

Сущность алгоритма оптимизации продуктивности аналогична ранее рассмотренному

$$G \rightarrow \underset{D}{max}, \quad /13/$$

однако он разработан в более конкретной форме - с учетом определения текущих значений продуктивности по результатам газового анализа, необходимости эффективной стабилизации концентрации остаточных РВ и независимого изменения концентрации приточного субстрата и коэффициента разбавления.

Значения метаболического коэффициента q_{CO_2} и продуктивности на j -ом шаге определяются из соотношений:

$$q_{CO_2} = \frac{G_{CO_2,j}}{0,25 D_j X_j}; \quad /14/$$

$$G_j = \frac{G_{CO_2,j}}{0,5(q_{CO_2,j} + q_{CO_2,j-1})} \quad /15/$$

Расчет продуктивности по выражению /15/ производится для уменьшения влияния погрешности определения коэффициента q_{CO_2} на продуктивность.

Экспериментально установлено, что повышение содержания сопутствующей микрофлоры приводит к увеличению значений коэффициентов Q_{CO_2} и Q_{O_2} , что вызвано различными физиологическими свойствами, в частности соотношением конструктивного и энергетического обмена культивируемого штамма и сопутствующей дрожжевой микрофлоры. При превышении коэффициентом Q_{CO_2} некоторого максимального ограничения решение задачи оптимизации приостанавливается.

Для стабилизации концентрации остаточных РВ предложен новый способ управления, основанный на расчете скорости потребления РВ биомассой дрожжей и изменении притока РВ в аппарат /воздействием на концентрацию углеводного субстрата S_0 / в зависимости от приращения скорости потребления РВ. При переходе к конечным приращениям за время ΔT выражение для определения заданного изменения концентрации ΔS_0 принимает следующий вид:

$$\Delta S_0 = S_{огр} - S_j - \frac{S_j - S_{j-1}}{D_j \Delta \tau}, \quad /16/$$

где $S_{огр}$ - допустимое граничное /минимальное или максимальное/ значение концентрации остаточных РВ, кг/м³.

Для независимого изменения концентрации приточного субстрата и коэффициента разбавления в систему предложено ввести задатчик притока РВ в аппарат. Заданное значение притока РВ $P_{РВ}^*$ определяется по выражениям:

$$Q^* = D^* V^*; P_{РВ}^* = Q^* (S_0'' + \Delta S_0), \quad /17/$$

где Q^* - суммарный приток среды через аппарат, обеспечивающий заданный коэффициент разбавления, м³/ч;

S_0'' - номинальная концентрация РВ субстрата, кг/м³.

Расчет заданных расходов сусла Q_c^* и воды Q_w^* производится из условия обеспечения заданного притока РВ при любых изменениях

концентрации РВ в сусле S_c и суммарного потока через аппарат:

$$Q_c^* = \frac{P_{PB}^*}{S_c} ; \quad Q_s^* = Q^* - Q_c^* . \quad /18/$$

При этом одновременно устанавливается заданная концентрация S_o^* приточного субстрата, что очевидно из следующего соотношения:

$$S_o^* = S_o'' + \Delta S_o = \frac{Q_c^* S_c}{Q_c^* + Q_s^*} = \frac{P_{PB}^*}{Q^*} . \quad /19/$$

Проведена сравнительная проверка данного алгоритма с адаптацией и без адаптации коэффициентов моделей /7/ и /9/ на моделях, имитирующих дрейф экстремума данных характеристик на 5-10% после каждого шага по поиску оптимума. Использована градиентная коррекция вектора B_j коэффициентов для уменьшения на $j+1$ -ом шаге невязки ϵ_j^2 выходов объекта R_j и модели $f(B_j, D_j)$ на j -ом шаге:

$$\Delta B_{j+1} = -2\alpha [f(B_j, D_j) - R_j] \nabla_B f(B, D_j) |_{B=B_j} , \quad /20/$$

где α - положительный параметр;

$$\nabla_B f(B, D_j) = \left(\frac{\partial f(B, D_j)}{\partial b_{06}} , \frac{\partial f(B, D_j)}{\partial b_{16}} , \frac{\partial f(B, D_j)}{\partial b_{26}} \right) .$$

Значение α определялось с помощью метода золотого сечения решением задачи однопараметрической минимизации:

$$\epsilon_j^2(B_j + \Delta B_{j+1}) \xrightarrow[\alpha]{\min} \alpha^* . \quad /21/$$

В результате моделирования получены практически одинаковые результаты при использовании как адаптивных, так и исходных моделей, что объясняется наличием ограничений на изменение управляющего воздействия ΔD . В то же время установлено, что разработанный алгоритм существенно уменьшает потери на поиск и на "рыскания" по сравнению с шаговыми методами. Это позволило использовать модель /7/ или /9/ в качестве идентификатора объекта без адаптации ее ко-

эффициентов.

Производственная проверка алгоритмов проводилась в отделении чистой культуры КБХЗ. При испытаниях алгоритма управления концентрацией активной биомассы установлено, что дисперсия колебаний этого параметра уменьшилась в 2,27 раза, а среднестатистическое его значение возросло на 8,4% по сравнению с управлением с помощью системы стабилизации.

Производственные испытания алгоритма управления продуктивностью показали, что среднее ее значение увеличилось на 10,8% при уменьшении среднеквадратического отклонения на 27%.

В четвертой главе "Реализация результатов исследований" рассмотрены вопросы разработки функциональной структуры системы управления, ее реализации на КБХЗ, производственных испытаний системы и выработки рекомендаций по ее применению.

Учитывая возможность использования продуктивности в качестве критерия управления для всех производственных культур дрожжей, разработана функциональная схема /рис.3/ системы управления продуктивностью аппарата. Система построена по двухуровневой иерархической структуре с супервизорным управлением. Нижний уровень реализован на основе пневматических приборов и регуляторов системы "Старт" и решает задачи стабилизации параметров процесса и сбора первичной информации. Общепринятые контуры стабилизации температуры и pH среды, а также линии ввода информации о лабораторных анализах на схеме не изображены.

Для реализации системы на КБХЗ решены следующие практические задачи: аналитическая градуировка датчиков, определение частоты их опроса и метрологических характеристик каналов измерения.

На основании алгоритма управления Черновицким филиалом Киевского института автоматики разработана программа на языке МНЕКОМОД

В. О 13900

Одесский технологический
институт пищевой промыш-

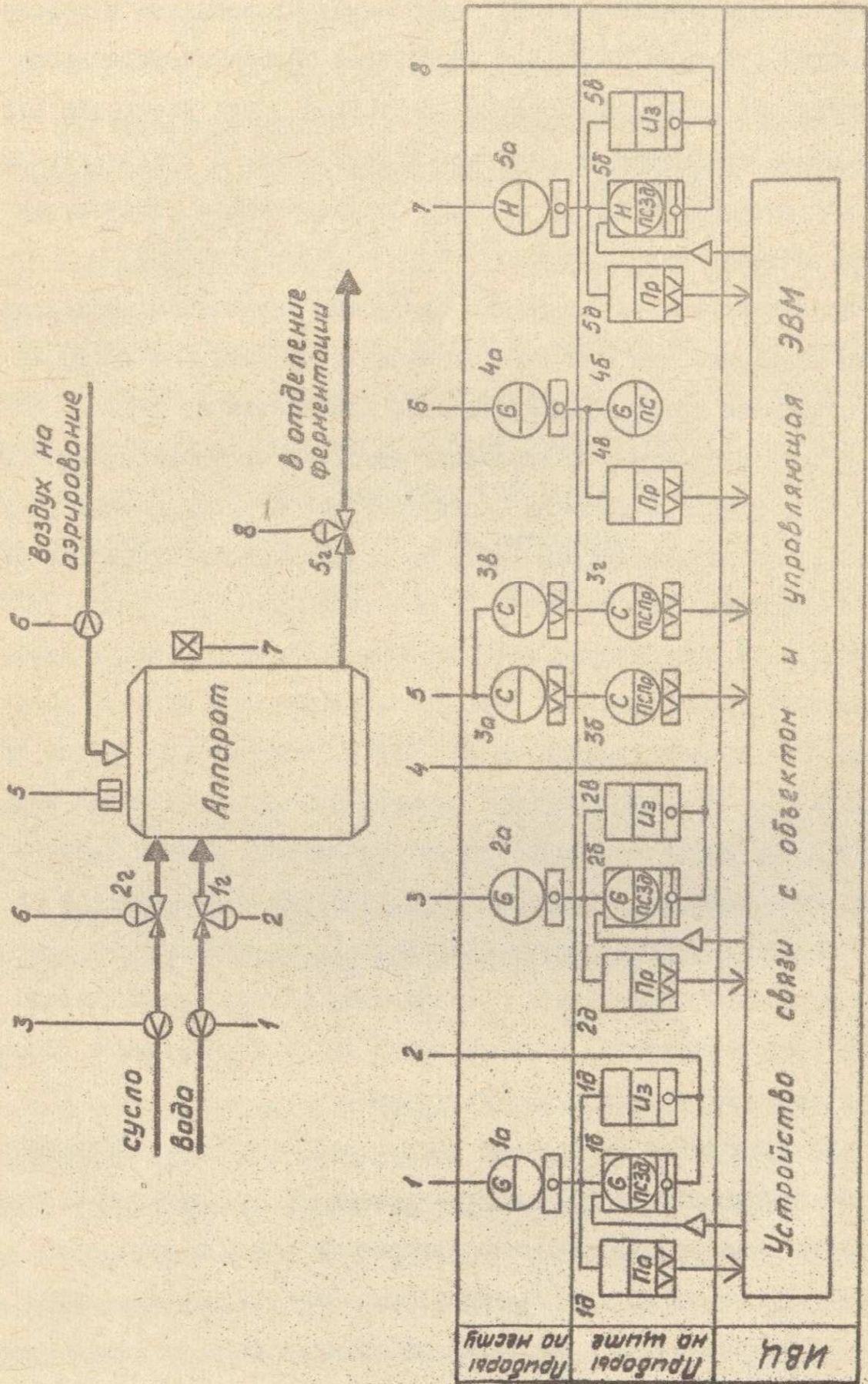


Рис.3. функциональная схема системы управления продуктивностью аппарата

для управляющей мини-ЭВМ М-6000, установленной на КБХЗ для решения задач АСУ ТП.

Производственные испытания системы на КБХЗ показали, что в результате ее внедрения продуктивность аппаратов возрастает на 5,3%, а выход дрожжей - на 2,8%. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 26800 рублей в год. В ходе испытаний подтверждена также возможность определения степени вытеснения культивируемого штамма по изменению метаболических коэффициентов q_{O_2} и q_{CO_2} .

Указывается на возможность использования в качестве оптимизатора микро-ЭВМ серии "Электроника". С учетом практики аналоговых средств автоматики разработана система стабилизации подачи приточного субстрата в аппарат. Данная система, в отличие от существующих на заводах обеспечивает стабилизацию следующих показателей: расхода РВ, концентрации РВ в субстрате и коэффициента разбавления - и может быть рекомендована в проектах усовершенствования существующих локальных систем автоматизации процесса.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существующие системы управления отделением чистой культуры не обеспечивают эффективного регулирования основных показателей процесса: концентраций биомассы и остаточных питательных веществ в аппарате, производительности аппаратов, - так как эти системы разомкнуты по каналам управления данными параметрами. Установлено, что отклонения концентрации остаточных питательных веществ за пределы, установленные регламентом, приводят к снижению производительности аппаратов отделения на 17%.

2. В качестве критерия управления отделением выбраны концентрация активной биомассы и удельная производительность /продуктивность/ аппаратов отделения по активной биомассе дрожжей.

Показано, что имеется экстремум зависимости концентрации активной биомассы от коэффициента разбавления для некоторых культур кормовых дрожжей. Зависимость удельной производительности аппарата по активной биомассе от коэффициента разбавления является экстремальной для всех штаммов.

3. Установлено, что основной причиной нестационарности объекта является вытеснение культивируемого штамма сопутствующей дрожжевой микрофлорой. При содержании производственной культуры в пределах регламента /70-100%/ объект с достаточной для практических целей точностью можно считать стационарным.

4. Экспериментально подтверждена возможность определения удельной производительности аппарата или концентрации активной биомассы в статическом режиме по изменению количества выделившегося углекислого газа или потребленного кислорода при росте биомассы.

5. Разработанный метод контроля содержания урожайной культуры по изменению значений метаболических /стехиометрических/ коэффициентов, связывающих выделение CO_2 или потребление O_2 с приростом биомассы, позволяет оперативно определить вытеснение культуры малоурожайной микрофлорой.

6. Проведенный анализ и экспериментальная проверка разработанного алгоритма показали, что для ускорения времени поиска и уменьшения "рысканий" в зоне оптимума возможно использование в качестве идентификатора объекта регрессионной модели без адаптации ее коэффициентов.

7. Разработанный способ автоматического управления концентрацией остаточных питательных веществ с учетом скорости их потребления биомассой дрожжей позволяет эффективно стабилизировать данную концентрацию на оптимальном уровне. Введение в состав системы

задатчика расхода питательных веществ в аппарат позволяет осуществлять независимое регулирование коэффициента разбавления и концентрации приточного субстрата.

8. Разработана комбинированная система автоматической стабилизации подачи питательных веществ в аппарат, которая проще и надежнее существующих и может быть использована в проектах усовершенствования систем управления, построенных на локальных средствах пневмоавтоматики.

9. Разработана система управления отделением чистой культуры специализированного завода по производству кормовых дрожжей, внедрение которой привело к увеличению производительности отделения на 5,3% и выхода дрожжей в аппаратах на 2,8%. Ожидаемый экономический эффект внедрения системы на Кировском биохимзаводе составляет 26800 руб/год.

Данная система включена также в состав типовой АСУ ТП гидролизно-дрожжевого производства, проект которой разрабатывается Институтом автоматики имени ХХУ съезда КПСС /г.Киев/.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Алгоритм управления отделением чистой культуры гидролизно-дрожжевого производства /В.Г.Трегуб, Е.Л.Календро, Л.А.Иванова, А.И.Стадниченко. - Гидролизная и лесохимическая промышленность, 1974, № 8, с.3-5.

2. Календро Е.Л., Трегуб В.Г. О зависимости концентрации активной биомассы дрожжей от коэффициента разбавления. - Микробиологическая промышленность, 1975, № 7, с.4-5.

3. Трегуб В.Г., Календро Е.Л., Иванова Л.А. Об оптимальном управлении отделением чистой культуры гидролизно-дрожжевого производства. - В кн.: Автоматизация технологических процессов в пи-

щевой промышленности. Тез. докл. респ. семинара. Киев, 1975, с.19.

4. А.с. 488848 /СССР/. Система автоматического управления процессом выращивания дрожжей /Е.Л.Календро, В.Г.Трегуб, Д.И.Скоб-
ло. - Оpubл. в Б.И., 1975, № 39.

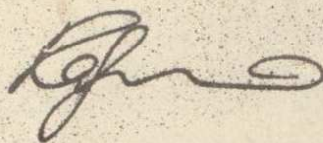
5. Трегуб В.Г., Календро Е.Л. Система автоматического управ-
ления отделением чистой культуры производства кормовых дрожжей. -
Научн.-техн.реф.сб.: Спиртовая и ликеро-водочная промышленность,
ЦНИИТЭИпищепром, 1976, № 4, с.1-5.

6. Об оптимизации процесса выращивания чистой культуры дрож-
жей /Е.Л.Календро, В.Г.Трегуб, Л.А.Иванова и др. - Гидролизная и
лесохимическая промышленность, 1976, № 7, с.9-10.

7. Календро Е.Л., Трегуб В.Г. Об использовании результатов
газового анализа для управления процессом выращивания кормовых
дрожжей. - В кн.: Автоматизация технологических процессов в пице-
вой промышленности: Тез. докл. респ. семинара, Киев, 1977, с.32-33.

8. Календро Е.Л., Трегуб В.Г. Автоматическая система управ-
ления отделением чистой культуры Кировского биохимического заво-
да. - В кн.: Материалы конференции по проектированию АСУ ТП в мик-
робиологической промышленности. - Киев, 1977. - 8 с. - Рукопись
представлена Киевским институтом автоматизации. Деп. в УкрНИИТИ,
1977, № 794.

9. А.с. 810802 /СССР/. Способ автоматического управления про-
цессом непрерывного культивирования микроорганизмов и система для
его осуществления /Е.Л.Календро, В.Г.Трегуб. - Оpubл. в Б.И.,
1981, № 9.



БР 05676. Подп. к печати 8.09.82 г. Формат 60 x 84 1/16.
Объем 0,9 уч. изд. л., 1,26 п. л. Заказ № 5027. Тираж 100 экз.
Гортипография Одесского облполиграфиздата, цех № 3,
Ленина, 49.