

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

НЕТ КАРТ

На правах рукописи

НИКОЛАЕНКО Владимир Федорович

УДК 663.14.033.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ  
ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

Специальность 05.13.07 - автоматическое управление  
и регулирование, управление технологическими про-  
цессами (промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Библиографический указатель 1387 А

Одесса - 1983

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Киевского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности

Научный руководитель - к.т.н., доц. Ладанюк А.П.

Соавторы - д.т.н., проф. Скрипник Ю.А.;

ОНАХТ 21.06.12  
Оптимизация процесса

- д.т.н., доц. Остапчук Н.В.



v014465

ведущая организация - НПО Пищемаш (г.Киев)

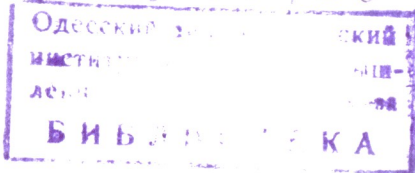
Защита состоится 9 декабря 1983 г. в 10.30 часов на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова по адресу: г.Одесса, ул.Свердлова, 112, ОТИПП им. М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан 31 октября 1983 г.

Ученый секретарь специализированного совета к.т.н., доц.

А.А. ЗАГИБИД



Актуальность проблемы. Коммунистическая партия и Советское правительство проводят последовательный курс на подъем уровня развития общественного производства и повышения его эффективности.

Планом развития на XI пятилетку предусмотрено увеличение выпуска продукции пищевой промышленности на 23-25 %.

В частности, для дрожжевой промышленности это вызывает необходимость изучения режимов культивирования с целью их оптимизации и исключения потерь сырья, а также создания аппаратуры, обеспечивающей повышение производительности труда, выхода и качества выпускаемой продукции.

Перспективным направлением технического прогресса в пищевой промышленности является внедрение аппаратов большой единичной мощности и создание высокоэффективных систем автоматизации.

Состояние вопроса. В настоящее время процесс культивирования хлебопекарных дрожжей как объект автоматического управления изучен недостаточно. Культивирование на большинстве дрожжевых заводов ведется по жесткой программе, при которой невозможно учесть все многообразие факторов, влияющих на рост дрожжей, не учитывается, в частности, физиологическое состояние микроорганизмов. Кроме того, в настоящее время нет методики расчета дозаторов питательных веществ с учетом заданных параметров (точности дозирования и др.). Существующие в настоящее время системы дозирования не отвечают современным требованиям.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования являлась оптимизация технологического процесса культивирования дрожжей.

вирования хлебопекарных дрожжей, обеспечивающая наиболее эффективное использование питательных веществ, с помощью системы автоматического управления процессом и системы автоматического дозирования питательных компонентов.

На защиту выносятся:

- методы исследования процесса, в частности, выделение тепла при различных режимах культивирования, построенная в виде логико-динамической структуры математическая модель управляемого объекта;

- разработанные алгоритмы управления процессом по тепловыделению, управление процессом при помощи прогнозирующих физических моделей, методика расчета дозаторов питательных компонентов;

- предложенные системы и средства управления, практические конструкции средств для измерения тепловыделения дрожжей и автоматические дозаторы.

Объекты исследования. Исследования проводились на полупромышленной установке на Киевском дрожжевом заводе и на промышленном аппарате Боратинского дрожжевого завода Волынской области.

В исследованиях по определению характеристик дозаторов использовались вода, раствор мелассы, кукурузного экстракта. В исследованиях по определению тепловыделения дрожжей использовались хлебопекарные дрожжи, применяемые на украинских хлебопекарных заводах. Оптимальность режима культивирования характеризовалась выходом дрожжей и их качеством. Полученные результаты статистически обработаны при помощи вычислительной техники.

### Научная новизна.

Построена математическая модель распределения тепловых потоков по стадиям процесса в виде логико-динамической структуры.

Изучено тепловыделение дрожжей в различных режимах культивирования, построена диаграмма удельного тепловыделения, предложен алгоритм управления процессом по тепловыделению дрожжей.

Изучено влияние аэрационного воздуха на тепловой баланс аппарата, проведено сравнение аппаратов различных конструкций, исследовано температурное поле внутри аппарата.

Разработаны принципы управления процессом при помощи прогнозирующих физических моделей, дана методика их построения.

Исследован процесс дискретного дозирования питательных компонентов, разработана методика определения частоты срабатывания дозатора в зависимости от точности задания кривой задания, предложена методика расчета дозаторов, намечены пути улучшения качества процесса дозирования.

Разработана структура системы автоматизации с учетом свойств управляемого объекта.

### Практическая ценность.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана система автоматического управления процессом дрожжевания по тепловыделению дрожжей.

Разработаны устройства для измерения тепловыделения дрожжей по ходу процесса непосредственно в объеме аппарата.

Разработана система автоматического управления процессом с применением прогнозирующих физических моделей.

Разработана система дозирования питательных компонентов в дрожжерастильный аппарат, управляющее устройство системы дозирования предусматривает работу дозаторов по параметру, либо по программе. В последнем случае предусмотрен переход с одной программы на другую и корректировка программы. Система смонтирована и испытана в производственных условиях.

Реализация работы. Результаты исследования положены в основу системы автоматизации, внедренной на Боратинском дрожжевом заводе. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность теоретических предпосылок. В результате внедрения работы получен экономический эффект 10 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Результаты работы по теме диссертации докладывались и получили одобрение на симпозиуме по биотехнологии и биоинженерии (Рига, 1978), на Региональном научно-техническом семинаре "Вопросы проектирования прогрессивного оборудования и разработки систем автоматизации в пищевой промышленности" (Краснодар, 1980), на 43, 44, 46, 47 научных конференциях Киевского технологического института пищевой промышленности (Киев, 1977, 1978, 1980, 1981).

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 7 авторских свидетельств, в которых изложено основное содержание выполненных исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, выводов, списка использованной литературы, включающего 212 источников, в том числе 57 иностранных источников, и приложения. Основное содержание работы изложено на 143 страницах машинописного текста. В диссертации имеется 8 таблиц, 45 рисунков.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит формулировку проблемы, оценку актуальности проведенных исследований, а также общие задачи и цели исследований.

Первая глава посвящена анализу информации о состоянии исследований в области систем автоматического управления процессом выращивания хлебопекарных дрожжей, а также систем дозирования жидкостей и конструкций дозаторов.

Из обзора следует, что в настоящее время процесс культивирования на дрожжевых заводах страны ведется в основном по жесткой программе без учета физиологических особенностей развития дрожжей.

Дозирование растворов в дрожжерастильный аппарат происходит при помощи дозаторов с мерной емкостью. Несмотря на то, что конструкция таких дозаторов достаточно изучена и рассмотрена, нет методики расчета и выбора основных параметров и режимов дозаторов.

Вторая глава посвящена разработке математической модели, описывающей тепловые потоки дрожжерастильного аппарата, а также изучению тепловыделения дрожжей.

Изучение температурного поля внутри аппарата производилось при помощи специально разработанного зонда, и как показали эксперименты, проводимые в зимнее и летнее время,

температурное поле является равномерным по всему объему аппарата.

Одним из важных факторов, влияющих на тепловой режим аппарата, является вращающийся воздух. Для оценки его влияния дрожжерастительный аппарат заполнялся водой, охлаждающая рубашка была отключена и вода слита, далее в аппарат подавался воздух и в конце оценивалось его влияние на температуру в аппарате.

Из ряда вариантов расчета влияния воздуха был выбран один, наиболее близко совпадающий с экспериментальными данными.

Полученные результаты позволили также оценить влияние воздуха на тепловые режимы дрожжерастительных аппаратов различных конструкций, при этом в более выгодных условиях находились аппараты типа ВДА-100 и РЗ-ВДС, в которых догрев культуральной жидкости вращающимся воздухом происходит в меньшей степени. Далее приведена математическая модель дрожжерастительного аппарата по каналу регулирования температуры, позволяющая оценить влияние различных потоков на тепловой баланс аппарата. На рис. 1 приведена параметрическая схема дрожжерастительного аппарата, содержащая условно три емкости: емкость жидкости в аппарате, емкость стенки аппарата и емкость воды в охлаждающей рубашке.

Математическая модель приведена в виде логико-динамической структуры, при этом весь процесс разбивался на отдельные стадии: складка, стадия накопления, стадия сборов, дозревание, опорушение аппарата. На каждой стадии условия в аппарате считались квазистационарными, коэффициенты математической модели рассчитаны для зимнего ( $-15^{\circ}$ ) и для летнего ( $+20^{\circ}$ ) режимов работы. В частности, для стадий накоп-

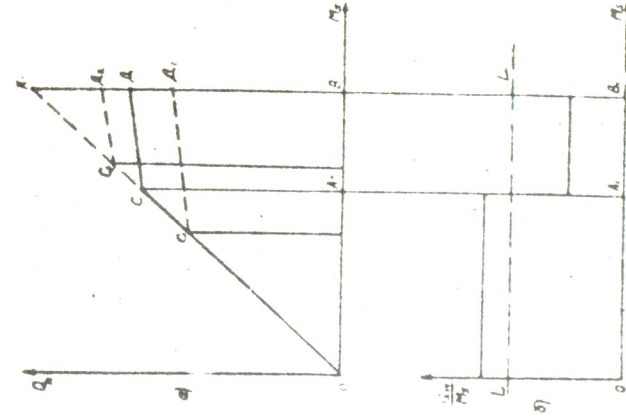


Рис. 2. Диаграмма удельного тепловыделения. а) зависимость тепловыделения от подачи мелассы; б) зависимость удельного тепловыделения на единицу поданной мелассы от мелассы.

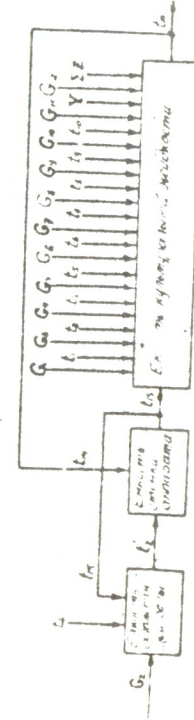


Рис. 1. Параметрическая схема дрожжерастительного аппарата.

ления и отборов получены следующие зависимости.

Стадия накопления. Летний режим:  $6591,1 \frac{d(\Delta t_{14})}{dt} + \Delta t_{14} =$   
 $= -1,403 \Delta G_1 + 0,11146 \Delta t_1 + 75012 \Delta G_4 + 0,02492 \Delta t_4 +$   
 $+ 2804,2 \Delta G_5 + 0,016066 \Delta t_5 + 28071 \Delta G_6 + 0,013852 \Delta t_6 +$  (1)  
 $+ 2727 \Delta G_7 + 0,78657 \Delta t_7 + 0,32464 \Delta t_7 + 0,027557 \Delta Y +$   
 $+ 0,0040718 \Delta M_8$

Зимний режим:  $6591,1 \frac{d(\Delta t_{14})}{dt} + \Delta t_{14} =$   
 $= -5,3145 \Delta G_1 + 0,10931 \Delta t_1 + 73936 \Delta G_4 + 0,02992 \Delta t_4 +$   
 $+ 1752,6 \Delta G_5 + 0,016066 \Delta t_5 + 1754,4 \Delta G_6 + 0,013085 \Delta t_6 +$  (2)  
 $+ 779,13 \Delta G_7 + 0,032464 \Delta t_7 + 0,78657 \Delta t_7 + 0,027557 \Delta Y +$   
 $+ 0,0040718 \Delta M_8$

Стадия отборов. Летний режим:  $13646 \frac{d(\Delta t_{14})}{dt} + \Delta t_{14} =$   
 $= -0,74157 \Delta G_1 + 0,072513 \Delta t_1 + 39648 \Delta G_4 + 0,030575 \Delta t_4 +$   
 $+ 1482,2 \Delta G_5 + 0,014153 \Delta t_5 + 1483,7 \Delta G_6 + 0,011527 \Delta t_6 +$  (3)  
 $+ 1441,4 \Delta G_7 + 0,30028 \Delta t_7 + 0,0040718 \Delta M_8 +$   
 $+ 0,57165 \Delta t_{15} + 0,028159 \Delta Y + 3015,9 \Delta G_{12}$

Зимний режим:  $13646 \frac{d(\Delta t_{14})}{dt} + \Delta t_{14} =$   
 $= -2,809 \Delta G_1 + 0,071107 \Delta t_1 + 39079 \Delta G_4 + 0,030575 \Delta t_4 +$   
 $+ 958,41 \Delta G_5 + 0,014153 \Delta t_5 + 927,32 \Delta G_6 + 0,011527 \Delta t_6 +$   
 $+ 411,81 \Delta G_7 + 0,30028 \Delta t_7 + 0,0040718 \Delta M_8 + 3015,9 \Delta G_{12}$  (4)  
 $+ 0,57165 \Delta t_{15} + 0,028159 \Delta Y$

При управлении процессом основной задачей системы автоматического управления является стабилизация таких параметров, как температура, pH, подача воздуха и субстрата

(раствора мелассы) в таком количестве, чтобы дрожжи не погибли и не было спиртообразования. В качестве критерия управления в данном случае принят выход дрожжей с единицы субстрата, так как основная часть затрат при производстве, как показал анализ затрат, приходится на мелассу.

В качестве параметра, по которому ведется управление процессом, взято тепловыделение дрожжей. Нами показано, если выделить единичный объем культуральной жидкости, считая концентрацию дрожжей и степень аэрации постоянными (рис. 2а) и увеличивать начиная от нуля подачу питательных веществ на участке ОС спиртообразования практически не будет, и все питательные вещества расходуются в основном на синтез биомассы. Наклон линии ОС зависит от типа микроорганизмов, а также их активности. На участке СД одновременно с процессом синтеза идет спиртообразование, что довольно часто происходит в промышленных аппаратах ввиду недостаточного воздухообеспечения. Если дрожжи в достаточной степени обеспечить воздухом, то процесс пойдет по линии СК, точка К выражает максимальное тепловыделение для данной концентрации дрожжей, положение точки С зависит от воздухообеспечения.

На рис. 2б показана зависимость удельного тепловыделения на единицу поданных питательных веществ от количества поданных питательных веществ. При заданном  $\frac{Q_{14}}{G_4}$ , определяющим выход дрожжей не ниже заданного (линия  $L-L_1$ ), подачу питательных веществ можно смело производить до точки А, далее начинается спиртообразование, в результате чего  $\frac{Q_{14}}{G_4}$  заметно снижается. В дальнейшем необходимо увеличить воздухообеспечение, либо прекратить увеличение подачи питательных веществ. Количество выделяющегося тепла за

время  $\tau$  равно:

$$Q_{14} = q_s \frac{dM_s}{d\tau} + q_p \frac{dM_p}{d\tau} + q_{жк} \cdot M_s \cdot \tau \quad (5)$$

Соотношение (5) можно записать в виде:

$$Q_{14} = q_s \cdot G_v \cdot Y + q_p \cdot G_v (Y_{max} - Y) + q_{жк} \cdot M_s \cdot \tau \quad (6)$$

Задавшись определенным значением выхода  $Y_{зад}$  можно получить зависимость для определения подачи мелассы:

$$G_v = \frac{Q_{14} - q_{жк} \cdot M_s \cdot \tau}{(q_s - q_p) Y_{зад} + q_p \cdot Y_{max}} \quad (7)$$

Эта зависимость является основой алгоритма управления.

Для проверки сказанного выше были проведены эксперименты на промышленном дрожжерастильном аппарате РЗ-ВДС. Определение количества выделившегося тепла производилось балансовым методом, то есть замерялась температура и расход всех приходящих и уходящих из аппарата потоков, а далее расчетным путем определялось выделяющееся тепло. Эксперименты подтвердили высказанные предположения.

В третьей главе рассмотрены принципы построения структуры управления процессом дрожжерастения при помощи прогнозирующих физических моделей (ПФМ), а также конкретные конструкции ПФМ. Отсутствие датчиков, определяющих состав культуральной жидкости, состояние микроорганизмов, нестабильность процесса приводит к ряду трудностей, поэтому процессом дрожжерастения целесообразно управлять при помощи физического прогнозирования, в данном случае ПФМ является идентификатором. Основная задача ПФМ - дать информацию о том, что будет происходить в аппарате при изменении основных управляющих параметров, как

в одну, так и в другую сторону. ПФМ представляет собой устройство, размещенное внутри или вне аппарата, в которое непрерывно или периодически подается часть культуральной жидкости, условия внутри ПФМ соответствуют условиям в аппарате, кроме некоторой переменной, называемой прогнозируемым фактором (в качестве таковых приняты подача питания мелассы и воздуха). При применении ПФМ необходимо выполнить ряд условий, среди которых основное условие прогнозирования (8) и условие перестройки микроорганизмов на новый режим (9)

$$K_{pm} \cdot T_m + T_{bc} + T_{pc} \leq T_c; \quad (8)$$

$$K_{zap} \cdot T_{пер} \leq T_m \leq T_u; \quad (9)$$

при отработке  $n$  ситуаций:

$$K_{zap} \cdot T_{перmax} < T_m; \quad (10) \quad n \cdot T_m < T_u. \quad (11)$$

Для нескольких параллельных моделей:

$$K_{zap} \cdot T_{перmax} \leq T_m < T_u. \quad (12)$$

Большое значение имеет способ установки уровня прогнозируемого фактора, особенно при переходных процессах и скачкообразных изменениях критического уровня ведения процесса (например, при резком снижении воздушноснабжения), так как при этом часто уменьшается реальное время прогнозирования и наблюдаются проскоки в зону спартообразования, поэтому в этих случаях желательно применять гибкие ПФМ с постоянным временем прогнозирования, а также ПФМ дальнего поиска критического уровня.

Для целей управления процессом разработано и исследовано несколько практических конструкций ПФМ, среди которых

"гибкая" ПТМ с пилообразным изменением прогнозирующего фактора по воздуху и скачкообразным по питанию; трехкамерная ПТМ и дифференциальная ПТМ. Во всех моделях в качестве определяющего параметра взято тепловыделение дрожжей. В качестве датчиков тепловыделения применены датчики теплового потока, изготовленные в лаборатории кафедры теплотехники КТИИП.

На рис.3 показана "гибкая" ПТМ, представляющая собой дифференциальный калориметр, состоящий из рабочей и эталонной камер, снабженных датчиками теплового потока. Эталонная камера заполнена водой, через рабочую прокачивается культуральная жидкость. Воздух подается в нижнюю камеру пилообразными импульсами и проходит обе камеры последовательно. Кроме этого, в рабочую камеру периодически подается меласса.

Дифференциальная ПТМ (рис.4) состоит из вертикальной камеры, помещаемой в аппарат, на стенке камеры укреплен датчик теплового потока, измеряющий разность тепловыделения внутри камеры и в аппарате:

$$Q_{14} = \Delta Y G_4 (q_5 + q_p) \quad (-13)$$

Сравнительная камера имеет в нижней части расширение, кроме того она снабжена заслонкой, позволяющей менять сечение в нижней части, а следовательно, и воздухоснабжение. Циркуляция жидкости происходит при помощи эрлифтной системы в верхней части камеры. На рис.5 показана структура системы управления процессом дрожжевания, содержащая дифференциальную ПТМ, способную работать как в жестком, так и в поисковом режиме.

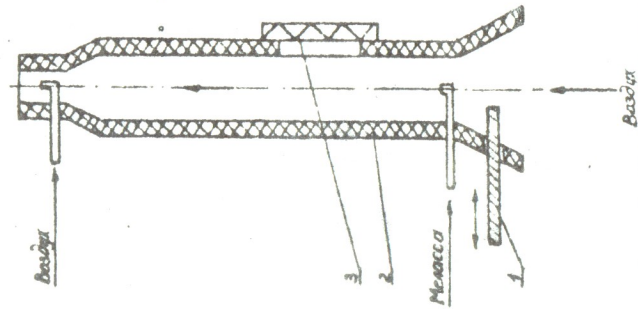


Рис.4. Дифференциальная ПТМ.  
1 - заслонка; 2 - камера; 3 - тепло-чувствительный элемент.

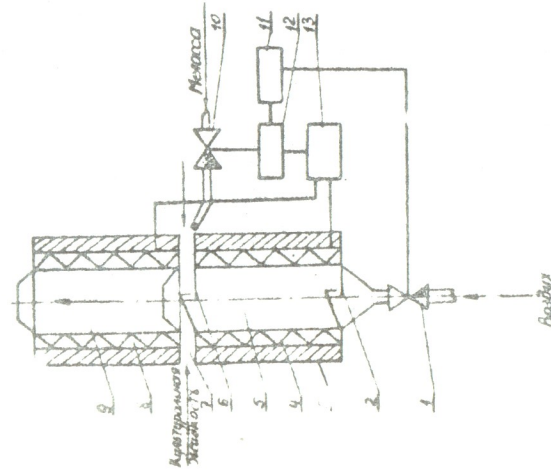


Рис.5. "Гибкая" ПТМ.

1, 10 - регулирующие клапаны; 2, 6 - обратные клапаны; 3 - корпус; 4, 8 - тепло-чувствительные элементы; 5 - эталонная камера; 7 - всасывающие отверстия; 9 - рабочая камера; 11 - генератор пилообразных импульсов; 12 - измерительный блок; 13 - воздух.



Уменьшить время отсутствия дозы можно, изменив режим работы дозатора путем растяжки времени выдачи дозы.

Для увеличения срока службы дозатора необходимо максимально снизить частоту срабатывания, поэтому предложено вести дозирование по комбинированному частотно-амплитудно-импульсному способу. При этом частота срабатывания определяется скоростью изменения задания, а величина дозы зависит от частоты и величины задания.

Разработана структурная схема управления станцией дозирования (рис. 6), предусматривающая дозирование по программе и по параметру.

Пятая глава. Приведены экспериментальные данные промышленного испытания аппарата с системой управления, данные испытания точности работы станции дозирования. В главе приведен расчет станции дозирования исходя из конкретного технологического регламента, также приводится описание функциональной схемы автоматизации дрожжерастельного аппарата.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании исследования выделения тепла дрожжами построена диаграмма удельного тепловыделения, позволяющая определить тепловыделение в критических точках процесса и разработать алгоритм управления процессом дрожжерастения.

2. Экспериментально установлено влияние аэрационного воздуха на тепловой режим аппарата, что дало возможность сравнить аппараты различных типов с целью автоматического управления процессом.

3. Построенная в виде логико-динамической структуры математическая модель позволила исследовать тепловой режим дрожжерастельного аппарата как объекта управления.

4. Разработанные принципы управления при помощи программируемых физических моделей (ПФМ) позволили создать и исследовать структуру адаптивной системы с ПФМ в качестве идентификатора.

5. Разработаны и испытаны практические конструкции ПФМ, работающие в объеме аппарата, и позволяющие определять оптимальные условия ведения процесса.

6. Предложенная методика расчета дозаторов и исследование работы дозаторов с мерной емкостью дали возможность рассчитать станцию дозирования питательных компонентов исходя из заданной точности и качества процесса дозирования, найти способы снижения частоты срабатывания дозатора и сглаживания пульсаций дозируемой жидкости.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Дозаторы, примененные в дрожжевом производстве в СССР и за рубежом. Обзор. / В.Ф. Николаенко, А.П. Ладанок, М.П. Гандзак, В.Г. Трегуб. - М. : ЦНИТЭИпищепром, 1978.

- 35 с.

2. Николаенко В.Ф., Ладанок А.П., Трегуб В.Г. К вопросу о выборе режима работы дозаторов с мерной емкостью. - В кн. : Автоматическое управление технологическими процессами в пищевой промышленности. - Краснодар : Пищ. пром-сть, 1979, с. 70-78.

3. Дозирование питательных растворов в дрожжерастельном аппарате. / В.Ф. Николаенко В.Ф., А.П. Ладанок, В.Г. Трегуб, М.П. Гандзак. - В кн. : Биотехнология и биоинженерия, т.3. Аппаратура и упр. Теа. докл. симпозиум. - Рига : Зинатне, 1978, с. 84-85.

4. Исследование тепловых процессов при выращивании хлебопекарных дрожжей. / В.Ф.Николаенко, Б.П.Шубенко, В.Г.Федоров и др. - В кн. : Биотехнология и биоинженерия, т.3. Аппаратура и упр. Тез. докл. симпов. - Рига : Зинатне, 1978, с. 85-86.
5. Дозатор жидкости с электрической системой управления. / И.Е.Иволженский, В.Ф.Николаенко, А.П.Ладанюк, В.Г.Трегуб. - Науч.-техн. реф. сб. ЦНИИТЭИпищепром. Пищ. пром-сть, сер. 14. Хлебопекарная, макаронная, дрожжевая пром-сть, 1981, вып.8, с. 4-6.
6. Автоматическое дозирование питательных компонентов в дрожжерастильный аппарат. / В.Ф.Николаенко, А.П.Ладанюк, В.Г.Трегуб, В.И.Бережная. - Хлебопекарная и кондитерская промышленность, № 11, 1980, с. 42-43.
7. А.с. 631003 (СССР). Система автоматического управления процессом выращивания микроорганизмов. / В.Ф.Николаенко, Б.П.Шубенко, В.Г.Федоров и др. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 17.
8. А.с. 700538 (СССР). Система автоматического управления процессом выращивания микроорганизмов. / В.Ф.Николаенко, А.И.Соколенко, А.П.Ладанюк, В.Г.Трегуб. - Оpubл. в Б.И., 1979, № 44.
9. А.с. 815032 (СССР). Устройство для измерения термогенеза микроорганизмов. / Б.П.Шубенко, В.Ф.Николаенко, О.А.Герашенко. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 11.
10. Положительное решение по заявке № 2730130/28-13. Система автоматического управления процессом выращивания микроорганизмов. В.Ф.Николаенко, А.И.Соколенко, А.П.Ладанюк и др. От 23.10.1979 г.

11. А.с. 840844 (СССР). Система автоматического управления процессом выращивания микроорганизмов. / В.Ф.Николаенко, Б.П.Шубенко, А.И.Соколенко и др. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 23.
12. Положительное решение по заявке № 2991925/28-13. Система управления процессом выращивания микроорганизмов. Л.П.Ладанюк, В.Ф.Николаенко. От 21.07.81 г.
13. Трегуб В.Г., Ладанюк А.П., Николаенко В.Ф. Обобщенный критерий оценки эффективности производства хлебопекарных дрожжей. - Хлебопекарная и кондитерская пром-сть, № 8, 1981, с. 39-40.
14. Положительное решение по заявке № 2941701/10. Дозатор жидкости. В.Ф.Николаенко, А.П.Ладанюк, В.Г.Трегуб, И.Ф.Степанец. От 29.09.81 г.
15. Николаенко В.Ф., Ладанюк А.П. Дозатор питательных растворов. - Науч.-техн. реф. сб. ЦНИИТЭИпищепром. Пищ. пром-сть, сер. 14. Хлебопекарная, макаронная, дрожжевая пром-сть, 1981, вып.10, с. 9-10.
16. Николаенко В.Ф., Ладанюк А.П., Бережная В.И. Регулирование pH среды в дрожжерастильном аппарате. - Науч.-техн. реф. сб. ЦНИИТЭИпищепром. Пищ. пром-сть, сер. 14. Хлебопекарная, макаронная, дрожжевая пром-сть, 1981, вып.10, с. 8-10.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- $t_1; t_4; t_5; t_6; t_7; t_8; t_{15}$  - температура входящего воздуха, растворов мелассы, сульфата аммония, диаммоний фосфата, воды, биомассы и стенка аппарата соответственно;
- $G_1; G_4; G_5; G_6; G_7; G_M$  - расход воздуха, растворов мелассы, сульфата аммония, диаммоний фосфата, воды и биомассы в оборочный аппарат соответственно;
- $Y; Y_{max}; Y_{зад}$  - текущий, максимальный и заданный выход соответственно;
- $M_B; M_P; M_{Gi}$  - масса биомассы, спирта, дозируемой жидкости на  $i$ -том участке соответственно;
- $Q_{14}$  - общее количество выделяемого тепла;
- $q_5; q_p; q_{ж}$  - удельное тепловыделение при синтезе биомассы, спирта и поддержание жизни соответственно;
- $K_{pm}; K_{zap}$  - коэффициенты реакции модели и запаса соответственно;
- $T_M$  - постоянная времени модели;
- $T_{пер}$  - время перестройки для дрожжей;
- $T_{вс}; T_{рс}; T_{и}; T_{\epsilon}$  - время выдачи сигнала от ПИМ, реакции системы, изменения состава культуральной жидкости и время, за которое потери от неточности управления достигнут заданной величины соответственно;
- $T$  - период дозирования;
- $\beta$  - величина дозы;
- $\epsilon_0$  - погрешность дозирования;
- $T_{нал}; T_{н}; T_{он}; T_{разд}; T_{д}; T_{од}; T_{зс}; T_{ос}$  - время наполнения дозатора, запаса при наполнении, остаточное при наполнении, разделения, выдачи дозы, отсутствия дозы, запаса при сливе, остаточное при сливе соответственно.