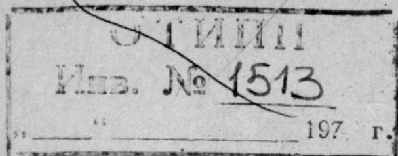


Авторефер.
Ш 49

Валентина М. Б.

Авторефер.
Ш 49

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

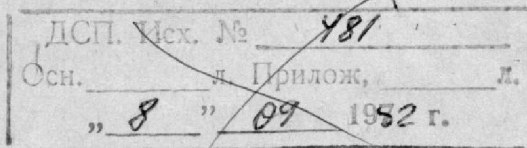


На правах рукописи
Для служебного пользования
Экземпляр № 00091

ШЕРСТОВИТОВ ВАЛЕРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАСАДОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
С ЦЕЛЬЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ДРОЖЖЕРАСТИЛЬНОМ АППАРАТЕ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.12 - процессы и аппараты
пищевых производств



Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1982

Работа выполнена на кафедре технологии комбикормовых и гидролизных производств Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

- Научный руководитель - кандидат технических наук,
ст. науч. сотр. А.Ю.Винаров;
- Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент Г.Г.Михайленко
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор И.Г.Чумак;
- кандидат технических наук,
доцент Д.П.Соколов
- Ведущее предприятие - ВНИИ гидролиз, научно-производственное объединение "Гидролизпром"

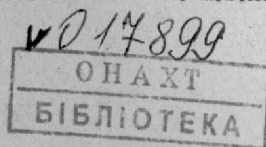
Защита диссертации состоится "15" октября 1982 г.
в 13.00 час на заседании специализированного совета Д 068.35.01
при Одесском технологическом институте пищевой промышленности
им. М.В.Ломоносова, 270039, г.Одесса, ул. Свердлова 112.

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

ОНАХТ 06.08.10
Разработка и исследо



v017899



Автореферат разослан

"10" сентября 1982 г.

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

12

А.Ф.Загибалов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное развитие в промышленной микробиологии характеризуется значительным увеличением мощностей строящихся заводов, оснащением их высокопроизводительными технологическими линиями с агрегатами повышенной мощности.

В Директивах XXVI съезда КПСС и июльском /1978 г./ постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О дальнейшем развитии производства ... продукции микробиологической промышленности в 1978-85 годах" предусмотрены ответственные задачи расширения выпуска продукции микробиологической промышленности/"... Предусмотрено в 1981-85 г.г. ввести в действие новые мощности по производству 1 млн 210 тыс. тонн кормовых дрожжей, 21 тыс. тонн лизина ..."/. В то же время, наряду с созданием новых высокоинтенсивных технологических процессов и крупнотоннажных аппаратов в микробиологической промышленности, важная роль в XI пятилетке отводится разработке и внедрению экономически эффективных технических решений, направленных на снижение энергетических и сырьевых затрат.

Для дрожжевых производств основным аппаратом, определяющим его эффективность, является дрожжерастильный аппарат, в котором происходит процесс выращивания кормовых дрожжей, интенсивность которого во многом определяется скоростью массопередачи кислорода к микробным клеткам.

В нашей работе / 3 / показано, что перспективной конструкцией дрожжерастильного аппарата является аппарат колонного типа, в котором за счет противоточного взаимодействия газа и жидкости обеспечивается развитая поверхность контакта фаз и высокая скорость транспорта питательных веществ и кислорода к микробным клеткам. При этом в нижней части колонного аппарата за счет гидростатического давления

жидкости увеличивается движущая сила процесса массопередачи кислорода, что способствует интенсивному росту аэробных микроорганизмов. Отсутствие вращающихся механических частей делает аппарат надежным в работе, отвечающим требованиям микробиологической технологии. Вертикальное расположение аппарата, малая установочная площадь для крупнотоннажных дрожжерастильных аппаратов, сравнительно низкий удельный расход металла, отработанная технология изготовления колонной аппаратуры и ряд других преимуществ позволяют считать колонный дрожжерастильный аппарат перспективной конструкцией для микробиологической промышленности.

Особенность проведения процессов микробиологического синтеза в колонном аппарате ставит ряд принципиальных вопросов, в т.ч. обеспечение эффективного равномерного перемешивания ферментационной среды с различной вязкостью в объеме аппарата, увеличение скорости массопередачи кислорода из газа в жидкость без повышения энергозатрат.

Целью работы является разработка эффективных турбулизирующих насадочных элементов для интенсификации массообменных процессов в дрожжерастильном аппарате колонного типа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить основные требования к материалу и конструкции турбулизирующей насадки для ее эффективного применения в ферментационных процессах;
- разработать образцы конструкций насадок, обеспечивающих улучшение гидродинамических и массообменных условий в колонном дрожжерастильном аппарате;
- провести массообменные и гидродинамические исследования, рекомендуемых для практики типов насадок, и установить оптимальные режимы ее работы;

- провести технологические испытания на биообъекте процесса ферментации с турбулизирующей насадкой и предложить схему инженерного расчета параметров дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой;
- разработать конструкцию дрожжерастильного колонного аппарата с применением турбулизирующей насадки.

Научная новизна работы. Впервые проведена детальная разработка новых типов насадочных элементов, осуществлено экспериментальное и теоретическое исследование их для интенсификации массообмена и гидродинамики в дрожжерастильном аппарате колонного типа. Предложена методика инженерного расчета основных геометрических и рабочих параметров колонного дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой.

Практическая ценность работы. Разработанные образцы насадочных элементов использованы в процессах ферментации и позволили улучшить гидродинамические условия перемешивания, повысить массообменные характеристики в дрожжерастильном аппарате: поверхность контакта фаз в системе газ-культуральная жидкость на 15-25 % и достичь увеличения производительности процесса ферментации в колонном дрожжерастильном аппарате на 10-25 %. Предложенные конструкции аппаратов с плавающей турбулизирующей насадкой успешно эксплуатируются в процессе получения кормовых дрожжей на Бендерском биохимическом заводе и опытной установке БВК в г.Дрогобыче.

Реализация результатов исследования. На основании результатов выполненного исследования разработаны технические условия на насадку лопастную для тепло-массообменных процессов, и выпущена опытная партия насадок в количестве 150 тыс. штук. Разработана конструкция дрожжерастильного аппарата колонного типа с плавающей насадкой объемом 50000 л.

Результаты исследования внедрены на двух биохимических заводах

и по координационному плану комитета по науке и технике в II-ой пятилетке намечено внедрить пять аппаратов на предприятиях Главмикробиопрома.

А п р о б а ц и я р а б о т н. По теме диссертации опубликовано II статей, получено 7 авторских свидетельств на изобретения, два из которых внедрены на предприятиях отрасли.

Разработанная в результате исследования насадка для колонного дрожжерастильного аппарата экспонировалась на ВДНХ НТТМ - 80.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференции в научном центре биологических исследований АН СССР "Разработка аппаратуры для биосинтеза белка на углеводородах", Пушкино, 1975; УП конференции молодых специалистов "Актуальные вопросы биотехнологии" во ВНИИсинтезбелке, Москва, 1977; III Всесоюзной конференции по комплексно механизации и автоматизации процессов в химико-фармацевтической промышленности, Киев, 1977; Всесоюзной конференции "Основные направления создания оборудования для комплектованных химико-технологических линий микробиологической промышленности" во ВНИИхиммаше, Дзержинск, 1979; Всесоюзном научно-техническом совещании "Коррозийно-стойкие защитные покрытия в химическом машиностроении", Полтава, 1980 г.; техническом совещании при лаборатории АСУ и СА научно-производственного объединения "Гидролизпром", Ленинград, 1981 г., XXXIII, XXXIV, XXXV научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИП им. М.В. Ломоносова в 1972-75 г.г.; конференции молодых ученых во МТИПе, Москва, 1978 г.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т н. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и предложений, списка литературы и приложения. Работа изложена на 239 страницах машинописного текста, содержит 40 таблиц и 47 рисунков. Список литературы включает 154 наименований, из них 35 иностранных.

В г л а в е I излагается обзор методов культивирования микроорганизмов и аппаратурного оформления процесса, дан анализ различных факторов на процесс культивирования белковой массы. Отмечен значительный вклад советских и зарубежных ученых в развитие технологии непрерывного культивирования микроорганизмов и ее аппаратурного оформления. В результате проведенного анализа показано, что одним из факторов повышения технико-экономических показателей процесса является увеличение массообмена, интенсивность которого зависит от гидродинамических параметров в том или ином дрожжерастильном аппарате.

Из балансового уравнения по кислороду, записанного для непрерывного процесса аэробного культивирования

$$K_L a (C^* - C) = a^0 \mu_{max} + D C,$$

следует, что увеличение переноса кислорода в среду, а, следовательно, возможное повышение продуктивности процесса по биомассе связано либо с увеличением равновесной концентрации кислорода за счет повышения его давления, либо объемного коэффициента массопередачи $K_L a$. Анализ известных литературных данных показывает, что основным фактором, влияющим на увеличение величины $K_L a$, является межфазная поверхность контакта газ-жидкость.

Применение инертных турбулизирующих элементов /плавающей насадки/ в секциях колонного биореактора в процессах ферментации /по способу Винарова А.Ю./ значительно интенсифицируют процесс, что позволяет решить задачу создания биореактора большой единичной мощности для комплектных технологических линий крупнотоннажных микробиологических производств.

В г л а в е II описана экспериментальная база, методики гидродинамических, и массообменных, и технологических испытаний на лабораторных и опытно-промышленных образцах дрожжерастильных колонных аппаратов с плавающей насадкой.

Экспериментальная часть работы выполнена в ОТИП им. М. В. Ломоносова на лабораторной установке объемом 100 л., в парафино-белковой лаборатории института ВНИИсинтезбелок /г. Москва/ на лабораторных установках 20 л и 100 л и опытно-промышленной установке БВК ВНИИПК нефтехим в г. Дрогобыче объемом 2 000 л., схема которой представлена на рис. 1. Установки включали следующие системы: колонный дрожжерастительный аппарат с плавающей насадкой; систему подачи воздуха; систему подачи орошающей жидкости, включающую циркуляционный контур с насосом; систему КИП и А, в том числе приборы для измерения и стабилизации температуры, pH-среды и измерения растворенного кислорода. При работе на биообъекте технологическая схема обвязки включала системы подачи питательных солей, субстрата, отбора дрожжевой суспензии и поддержания уровня в аппарате, а также анализаторы O_2 и CO_2 отходящего газа.

Характеристики исследованных колонн представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристика исследованных колонных аппаратов.

№ п/п	Геометрический объем V, л	Внутренний диаметр колонны, м	Кол-во секций	Материал колонн	Свободное сечение тарелки, %	Место установки, км
1.	20	0,1	6	органическое стекло	15	ВНИИсинтезбелок
2.	100	0,2	5	" "	5-25	ОТИП ВНИИсинтезбелок
3.	2000	0,6	6	нержавеющая сталь	15	СУ БВК ВНИИПК нефтехим г. Дрогобыч

В качестве критериев оценки эффективности процесса приняты:

- коэффициент массопередачи в жидкой фазе для модельных сред;
- удельная производительность процесса биосинтеза.

В главе III приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований с целью создания эффективной конструкции

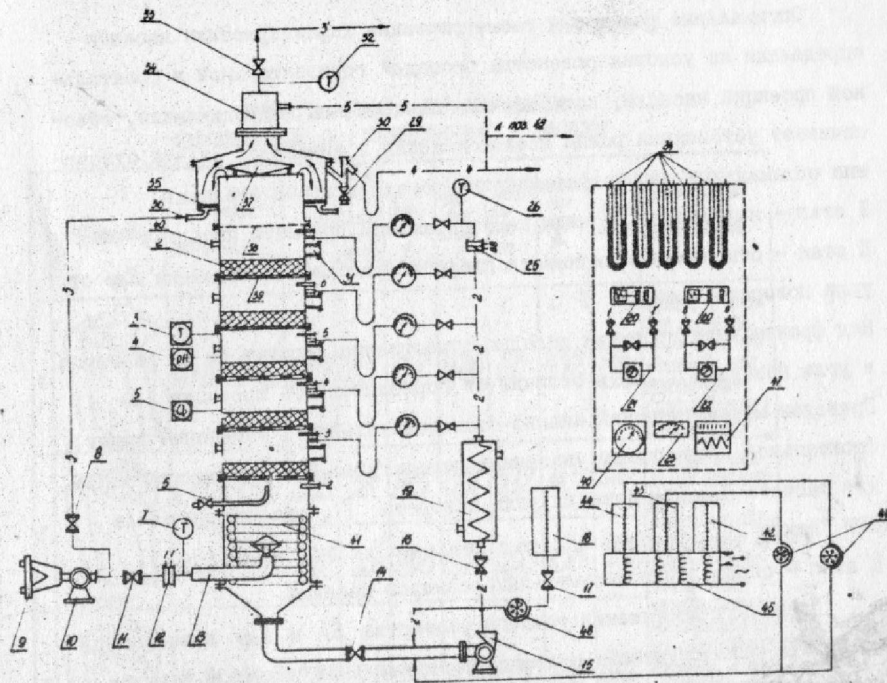


Рис 1. Схема экспериментальной установки дрожжерастительного колонного аппарата с плавающей насадкой

1-колонный дрожжерастительный аппарат; 2-насадка (показана в стационарном положении); 3-датчик температуры; 4-датчик pH-метра; 5-датчик растворенного кислорода; 6, 40-проботборник; 7, 32-термометр; 8, 11, 14, 17, 27, 16, 29, 33-вентиль; 9-фильтр; 10-воздуходувка; 12, 25-камерная диафрагма; 13-воздухоподводящее устройство; 15-циркуляционный насос; 18-фрагма; 19, 41-теплообменник; 20-расходомер; 21, 22-дифманометр; 23- pH-метр; 24-образный манометр; 28-жидкостной расходомер; 30-уровнемер; 31-загрузочный лок; 34-пеносгаситель; 35-диспергатор; 36-воздухоподводящий патрубок; 37-пенонеправляющее устройство; 38-удерживающая сетка; 39-опорно-распределительная тарелка; 42-сборник биомассы; 43- мерник углеродсодержащего субстрата; 44-мерник раствора солей; 45-весы-датчик; 46-лагометр; 47-милливольтметр; 48-микродозатор.

Основные обозначения технологических потоков

- 1-1- последрожжевая бражка; -2-2- раствор питательных солей; -3-3- воздух; -3-3- отработанный воздух; -4-4- рециркулирующая культура дрожжевой жидкости; -5-5- биомасса.

насадки и метода ее расчета.

Оптимальные размеры и геометрические характеристики насадки определяли из условия равенства площадей горизонтальной и фронтальной проекций насадки, которое, как известно из гидродинамики, обеспечивает устойчивый режим псевдооживления в аппарате. Задача отыскания оптимальных параметров насадки решалась тремя этапами:

I этап - нахождение площади горизонтальной проекции насадки;

II этап - отыскание зависимости площади фронтальной проекции $S_{фр}$ от угла поворота насадки ζ .

Вид фронтальной проекции насадки существенно зависит от ее размеров и угла поворота ζ , в отличие от горизонтальной проекции S_r .






Проведен математический анализ последовательности изменения видов фронтальной проекции от указанных параметров. Составлена программа для расчета $S_{фр}$ как функции угла поворота ζ , реализованная на ЭВМ "Наири".

III этап - определение оптимальных размеров насадки.

Поскольку достижения точного равенства S_r и $S_{фр}$ невозможно, то задача была сведена к нахождению оптимальных размеров насадки, соответствующих минимальному отклонению S_r от $S_{фр}$. Отыскание глобального минимума отклонения производилось расчетами на ЭВМ "Наири" методом сеток, которой покрывалась область допустимых размеров насадки $0 < \frac{\zeta}{\pi} < \frac{\pi}{\pi} < 1$. По результатам теоретических исследований моделей лопастных конических насадок были спроектированы, изготовлены и испытаны лопастные насадки различных конструкций, общий вид которых и удельные геометрические характеристики приведены в табл. 3. На основании теоретического анализа геометрических характеристик различных форм лопастных насадок, применительно к процессам микробиологического синтеза дрожжей на гидролизных и углеводородных средах, в качестве базовой была принята насадка по а.с. № 691171, вид

Таблица 3

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
РАЗРАБОТАННЫХ И ИССЛЕДОВАННЫХ НАСАДОК

Вид насадки	Размеры, мм $d = D \times A \times \zeta$	Лобовая площадь одного элемента, см ²	Число лопастей, шт	Объем, м ³ /м ³	Средняя плотность, г/см ³	Масса одного элемента, г	Масса, г	Рекомендации по применению
1 	10×20×45	0,03	375	257	0,86	63	432	Чистые, не вязкие системы $\mu = 10^{-3}$ Па·с. Например, при производстве спирта, цистинной кислоты
2 	12×22×25	0,015	50	215	0,81	3,12	143	Чистые и средние по вязкости системы $\mu = 5 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Например, при производстве спирта, с незначительными добавками
	14×24×25	0,02	55	288	0,83	3,53	158	
3 	14×24×25	0,03	53	256	0,85	3,50	136	Чистые и средние по вязкости системы $\mu = 5 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Например, в производстве цистина, в биохимических процессах и производстве ферментов.
4 	14×24×25	0,02	55	288	0,83	3,55	154	
5 	14×24×25	0,016	73,6	315	0,77	4,00	171	

которой приведен в табл. 3 /насадка № 2/. Результаты расчета оптимальных размеров насадки № 2 приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты вычислений оптимальных размеров лопастной конической насадки по а.с. № 691171

№ п/п	g мм	R мм	h мм	l мм	Относительное отклонение, %	Угол β град
1.	7	7,22	10,47	11,48	6,34	55,5
2.	7	7,7	11,66	12,07	6,58	56,5
3.	7	8,24	13,29	13,46	6,8	58,2
4.	7	8,88	14,95	14,29	6,85	59,3
5.	7	9,59	16,67	15,22	7,15	60,2
6.	7	10,45	18,64	16,28	7,29	60,8
7.	7	11,43	20,96	17,5	7,49	61,3
8.	7	12,73	23,73	18,92	6,0	61,9
9.	7	14,29	27,55	22,58	6,25	62,6
10.	7	16,28	31,90	25	6,56	63

Оптимальным вариантом является насадка № 8.

С целью выбора материала насадки нами были изучены некоторые физико-химические и поверхностно-активные свойства полимерных материалов в среде дрожжевого производства, в т.ч. полиэтилена низкого давления, полипропилена, полистирола ударопрочного, капрона, фторопласта. Выполненными исследованиями показана целесообразность применения для массового изготовления насадок из полистирола ударопрочного и полиэтилена низкого давления. Экспериментальные значения работы адгезии /Aa/ и угла смачивания /θ/ составили $Aa_1 = 108,5 \frac{Дж}{м^2}$, $\theta_1 = 54^\circ$; $Aa_2 = 99 \frac{Дж}{м^2}$, $\theta_2 = 63^\circ$ соответственно. Технологичность изготовления насадки проверена в ходе наработки опытно-промышленной партии насадок в количестве 120 тыс. штук.

Эксплуатация насадки в колонных биореакторах на опытной установке ВВК в г.Дрогобыче в течение 1979-80гг. и на Бендерском биохимическом заводе в период 1979 г. показали, что истираемость насад-

ки составила за год не более 2 %, при этом явление адгезии клеток к поверхности насадок не наблюдалось. Разработанные насадочные элементы, как показано в табл. 3, имеют развитую поверхность контакта со средой. Это позволило нам предложить для нанесения на поверхность элементов насадки интенсификаторов роста микроорганизмов. Разработанный совместно со специалистами ВНИИсинтезбелок и Казанского химико-технологического института им. С.М.Кирова на этой основе способ аэробного культивирования микроорганизмов по а.с. № 747111 позволяет за счет действия нанесенных на насадку интенсификаторов повысить продуктивность процесса биосинтеза на 13 % при одновременном уменьшении энергозатрат на 1,2 кВт ч/кг АСБ.

В г л а в е 1У приведены результаты гидродинамических, массообменных и технологических показателей работы элементов плавающей насадки в дрожжерастильном аппарате. По уравнению Дарси и методике Идельчика были рассчитаны коэффициенты сопротивления неорошаемой и орошаемой насадки № 2 /см. табл. 3/, представленные в табл. 4.

В процессе работы насадки в зависимости от скорости газового потока, исследованного в диапазоне от 0,1 до 1,5 м/с /в сечении колонны/, отмечены различные режимы работы колонны:

- I - при линейной скорости газа 0,1-0,25 м/с, режим, характеризующийся барботажем газовых пузырей и малоинтенсивным движением элементов насадки.
- II - при линейной скорости газа 0,3 - 0,9 м/с, режим, отличающийся интенсивным взаимодействием пузырьков и дроблением за счет турбулентности среды лопастной насадкой, находящейся в состоянии устойчивого псевдооживления.
- III - при линейной скорости выше 1,0-1,2 м/с, режим, характеризующийся неустойчивым процессом с пульсациями слоя и перемещением насадки к верхней перфорированной перегородке.

Таблица 4.

Расчетные коэффициенты сопротивления орошаемой и неорошаемой насадки при $h_{ст} = 0,12$ м.

L м ³ /м ² ч	0	10	25	50
$\frac{F_H}{F_{орн}}$	0,55	0,80	1,27	2,0
$\frac{F_H}{F_{орн}}$	0,6	0,8	1,1	

Наибольшей устойчивостью при высоких массообменных показателях обладал режим II. Перепад давления в трехфазном слое газ-жидкость-насадка при средней скорости газа 0,6 м/с составлял 0,055 атм/м высоты секции колонны. Важным показателем работы аппаратов со слоем насадки является общее гидродинамическое сопротивление ΔP трехфазного слоя газ-жидкость-насадка, которое в зависимости от скорости газовой фазы, высоты слоя, плотности насадки и газосодержания слоя рассчитывали по уравнению:

$$\Delta P = \frac{\rho_f W_f^2}{2F} \cdot \rho_k g h_0 + \frac{4\delta}{\sigma_{амб}} \cdot g h_{ст} (1-\epsilon) [\rho_m - \rho_k (1-\varphi)] \quad / 1 /$$

Для расчета газосодержания трехфазного слоя газ-жидкость-насадка и оценки рабочей высоты секции колонного дрожжерастильного аппарата нами исследовано влияние скорости газового потока на динамическую высоту слоя. Экспериментальные данные, полученные на двух моделях колонных аппаратов, приведены в табл. 5. Полученные экспериментальные значения $h_{дин}$ для различных нагрузок по газовой и жидкой фазам позволили установить для расчета среднего газосодержания зависимость $\varphi = 0,4 W_r^{0,3} / \delta = \pm 8 \%$. Исследования массообменных показателей по сульфитной методике позволяют определить эффективную величину свободного сечения тарелок в аппарате, обеспечивающего высокие массообменные характеристики, а также устойчивую работу аппарата в широком диапазоне скоростей газовой и жидкой фаз и при проведении процессов микробиологического синтеза. Сравнение испытанных тарелок с долей живого сечения от 5 до 25 % по критерию $\frac{E \cdot K_{10}}{\Delta P}$, характеризующем количество переданного кислорода при данном гидрав-

Таблица 5.

Влияние скорости газа в сечении колонны на динамическую высоту газо-жидкостного слоя и скорости сорбции кислорода в колонном дрожжерастильном аппарате с плавающей насадкой.

W_r , м/с	$h_{сек} = 100$ мм		$h_{сек} = 200$ мм		Примечание:
	$h_{дин}$, м	M_{O_2} , кг/м ³ ч	$h_{дин}$, м	M_{O_2} , кг/м ³ ч	
0,1	-	-	0,265	4,2	$\epsilon = 0,834$
0,14	0,136	5,82	-	-	$h_0 = 0,4 h_{сек}$
0,22	0,14	6,0	-	-	$h_{ст} = 0,15 h_{сек}$
0,3	-	-	0,295	6,6	
0,38	0,15	6,93	-	-	
0,55	0,159	8,04	-	-	
0,6	-	-	0,325	8,7	
0,7	0,164	8,80	-	-	
0,9	-	-	0,345	9,3	
0,94	0,175	9,6	-	-	
1,2	-	-	0,365	10,5	

лическом сопротивлении слоя / т.е. энергетических затратах на процесс/, позволило рекомендовать тарелки с долей свободного сечения 15 %. Для уточнения рабочей высоты стационарного слоя плавающей насадки было также проведено сравнение величины скорости сорбции кислорода в исследованных моделях колонных аппаратов. График на рис. 2 показывает характер изменения полученных опытных данных. Из графика следует, что увеличение слоя насадки до 20-25 % приводит к интенсификации массообменных процессов, повышению скорости сорбции кислорода в жидкость. Дальнейшее увеличение $h_{ст}$ не способствует росту A_{O_2} , в то же время с увеличением количества насадки в секции, уменьшается доля объема, занятая непосредственно культуральной жидкостью, вследствие чего общее количество переданного кислорода в объем аппарата не увеличивается.

При обработке опытных данных для оценки массообменных характерно-

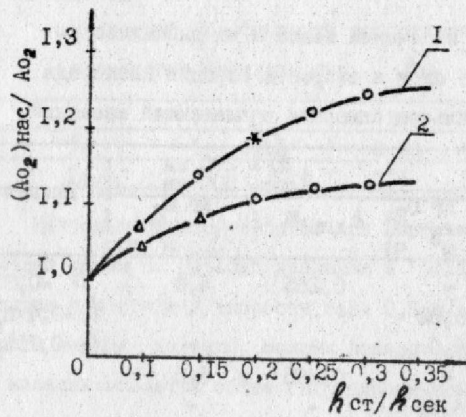


Рис.2. Влияние высоты насадки на скорость сорбции кислорода в жидкость 1- $W_r=0,55$ м/с; 2- $W_r=0,14$ м/с; Δ - $D_k=0,1$ м; \circ - $D_k=0,2$ м; $*$ - $D_k=0,6$ м.

тик дрожжерастильного колонного аппарата с плавающей насадкой, в зависимости от соотношения нагрузок по газовой и жидкой фазам. использованы результаты теории академика В.В. Кафарова о межфазной турбулентности и замечено, что в присутствии плавающей насадки слой газо-жидкостной эмульсии представляет подвижную систему газо-

жидкостных вихрей, возникающих за счет столкновения пузырьков, струй газа и насадочных элементов. Учет указанных явлений возможен с использованием фактора гидродинамического состояния f .

Общий вид зависимости

$$Nu_g = A \cdot Re_r^m \cdot P_2^{0,5} (1+f) \quad (2)$$

В наших исследованиях было установлено влияние соотношения нагрузок газовой и жидкой фаз на величину f , согласно зависимости $f = 0,05 / L / G / 0,4$ ($\delta = \pm 6\%$) (3)

Для оценки влияния нагрузки по жидкой фазе определяли величину коэффициента массопередачи по кислороду при значении $L = 0$ и при $L = 200$ в диапазоне от 10 до 100 м³/м² ч. Для значения $L = 0$ при постоянных физико-химических параметрах среды величина объемного коэффициента массопередачи K_{L0} связана, согласно уравнению 2, со скоростью газового потока зависимостью

$$K_{L0} = 1670 W_r^{0,34} \quad (\delta = \pm 5\%) \quad (4)$$

1017899
ОНАХТ
БИБЛИОТЕКА

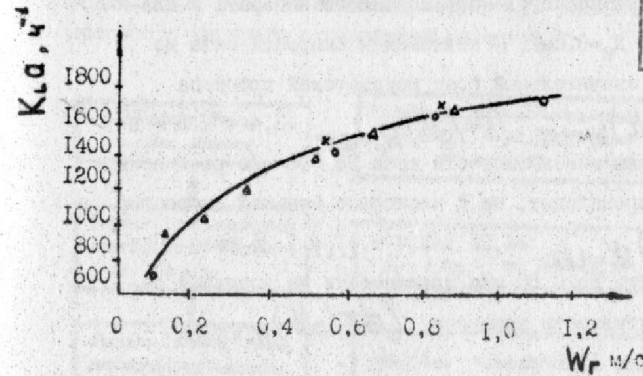


Рис.3. Зависимость коэффициента массопередачи от скорости газа в колонном дрожжерастильном аппарате с плавающей насадкой (Δ - $D_k=100$ мм; \circ - $D_k=200$ мм; x - $D_k=600$ мм)

График на рис.3. иллюстрирует данную зависимость $K_{La} / f W_r$ при $L=0$. Проведенными опытами показано влияние циркуляционного потока L на величину K_{La} , описываемое уравнением (2) и составляющее, например, при $L=50 \frac{M^3}{M^2 \cdot ч}$ и $W_r=0,6$ м/с - 16%, а при $L=70 \frac{M^3}{M^2 \cdot ч}$ и $W_r=0,3$ м/с - 22%, т.е. влияние наиболее проявляется при меньших скоростях газового потока.

Численные значения коэффициентов уравнения (2) с учетом уравнений (3,4) составили $A_1=19 \cdot 10^3$; $m=0,34$ ($\delta = \pm 12\%$).

На основе полученных опытных данных величина сорбции кислорода, с учетом полученных зависимостей, имеет вид:

$$M_{O_2} = A \cdot Re_r^{0,34} \cdot P_2^{0,5} \left[1 + 0,05 \left(\frac{L}{G} \right)^{0,4} \right] \left\{ \frac{\frac{1}{\psi} [Y_{O_2}^m (\rho + \Delta \rho) - \rho Y_{O_2}^k - (C_N - C_K)]}{2,3 \lg \left[\frac{Y_{O_2}^m (\rho + \Delta \rho) - C_N \psi}{\rho Y_{O_2}^k - C_K \psi} \right]} \right\} \sqrt{(1-0,4 W_r^{0,3})} \quad (5)$$

Данное уравнение позволяет оценить массообменные возможности дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой при различных нагрузках по газовой и жидкой фазам, выбор которых может быть проведен с учетом энергетических затрат на аэрацию и циркуляцию среды.

При постановке экспериментов на биообъекте в дрожжерастильном аппарате с плавающей насадкой установлено влияние скорости газового потока на значение удельной продуктивности процесса по биомассе, по-

лученные в двух моделях дрожжерастительного колонного аппарата с плавающей насадкой $D_{н1}=0,2м$, $D_{н2}=0,6м$. С повышением скорости газа до 0,3-0,36 м/с наблюдается значительный рост показателей процесса /продуктивности/ $(dx/dt)_{W_r=0,35} : (dx/dt)_{W_r=0,1} = 3,4 : 2,3$ - в 1,5 раза. С дальнейшим повышением скорости газа до 0,6 м/с рост показателей процесса хотя и происходит, но с несколько меньшей скоростью $(dx/dt)_{W_r=0,6} : (dx/dt)_{W_r=0,35} = 4,25 : 3,4$ т.е. в 1,25 раз. Последующее повышение скорости до 0,85 м/с практически не вызывает заметного увеличения продуктивности процесса $(dx/dt)_{W_r=0,85} : (dx/dt)_{W_r=0,6} = 4,6 : 4,25$ т.е. в 1,08 раза.

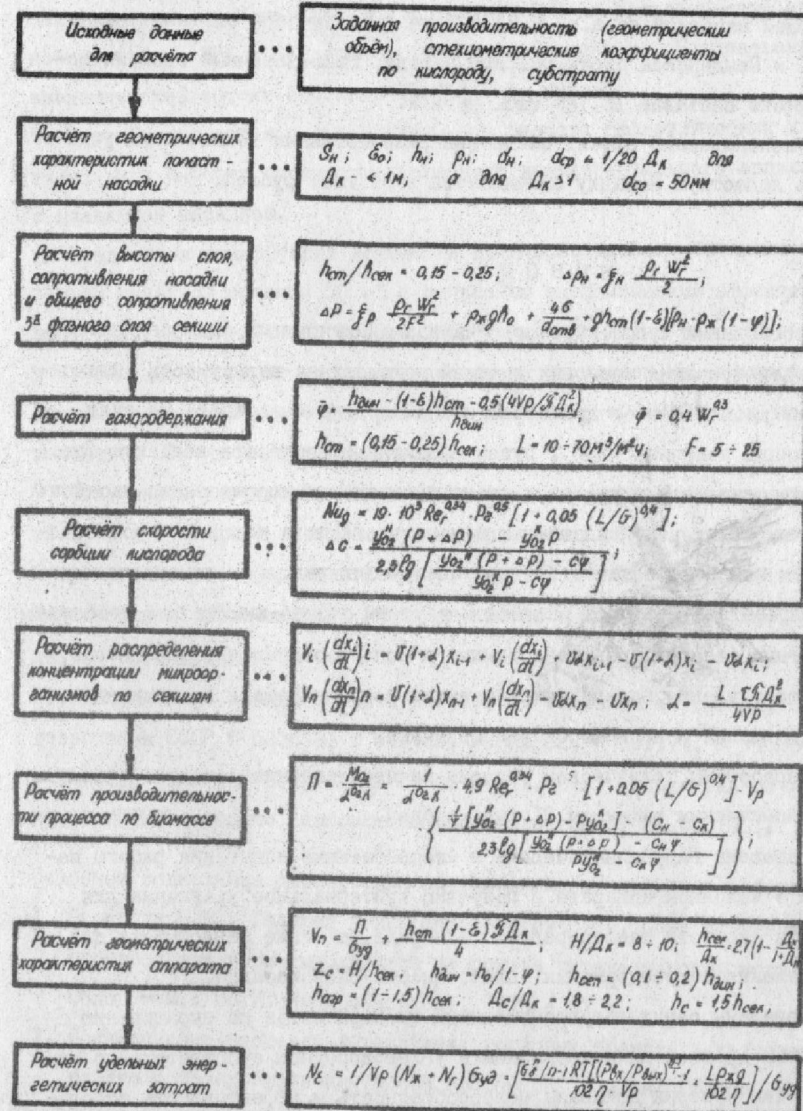
Таким образом, в качестве эффективного диапазона скорости газового потока при проведении в дрожжерастительном колонном аппарате с плавающей насадкой процесса культивирования аэробных микроорганизмов целесообразно рекомендовать $W_r = 0,4 + 0,6$ м/с.

В г л а в е У разработаны рекомендации по конструктивному оформлению и технологическому проектированию колонного дрожжерастительного аппарата с плавающей насадкой. На основании полученных зависимостей нами предложена общая схема расчета основных геометрических характеристик и рабочих параметров дрожжерастительного колонного аппарата с плавающей насадкой, приведенная в табл. 6.

Сравнительный анализ применения в производстве кормовых дрожжей аппарата колонного типа с плавающей насадкой показал, что в нем достигается продуктивность более чем в 3 раза превышающая продуктивность в аэрильных аппаратах, при этом: уд. энергозатраты превышают аналогичные показатели на 15%, а уд. металлоемкость на 1 кг АСД ниже чем в используемых в 1,1 + 1,4 раза.

При технико-экономическом сравнении предложенного колонного дрожжерастительного аппарата объемом 50 м³ с разработанной нами плавающей насадкой с типовым аппаратом отделения чистой культуры заводов ББК, снабженного механическим аэрирующим устройством показано, что годовой экономический эффект составляет 87 тыс. рублей.

Общая схема расчёта основных параметров работы дрожжерастительного колонного аппарата с плавающей насадкой



По результатам исследований осуществлено внедрение плавающей насадки по а.с. № 691171 и колонного дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой по а.с. № 543673 на Дрогобычской опытной установке БВК и Бендерском биохимическом заводе. Реализованный экономический эффект составил 12,765 тыс. рублей.

Экономический эффект внедрения разработанных технических условий на лопастную насадку оценивается в 91 тыс. рублей.

ВЫВОДЫ

1. На основании теоретического анализа лимитирующих факторов процесса культивирования кормовых дрожжей установлена возможность интенсификации массообмена в дрожжерастильном колонном аппарате за счет увеличения величины Ma , путем развития поверхности контакта фаз.
2. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование насадочных элементов, рекомендованных к использованию в колонном дрожжерастильном аппарате в качестве турбулизирующих тел.
3. Разработана методика расчета и изучены физико-химические свойства лопастных насадок, рекомендованных к использованию в биопроцессах. Для изготовления насадочных элементов рекомендуется: полиэтилен низкого давления и полистирол ударопрочный.
4. Разработаны технические условия на изготовление лопастной насадки с экономическим эффектом 91 тыс. рублей.
5. Проведены гидродинамические и массообменные испытания работы насадки в колонном аппарате и получено критериальное уравнение для расчета скорости массопередачи кислорода, а также зависимости для определения газосодержания слоя, высоты слоя насадки.
6. Проведены серии полупромышленных экспериментов по выращиванию кормовых дрожжей на гидролизном и углеводородном субстратах, по результатам которых доказана целесообразность и эффективность исполь-

зования лопастной насадки. По результатам исследования осуществлено внедрение плавающей насадки по а.с. № 691171 и дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой по а.с. № 543673 на Дрогобычской опытной установке БВК и Бендерском биохимическом заводе. Реализованный экономический эффект составил 12,765 тыс. рублей.

7. Разработана общая схема инженерного расчета геометрических характеристик и рабочих параметров колонного дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой.
8. Предложена конструкция колонного дрожжерастильного аппарата с плавающей насадкой объемом 50 м³, с ожидаемым экономическим эффектом от внедрения, равного 87 тыс. рублей. Изготовлен согласно разработанным рекомендациям аппарат и в настоящее время поставлен на Башкирском биохимическом комбинате для работы в отделении чистой культуры производства БВК на n-парафинах нефти.
9. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования новых и интенсификации существующих аппаратов, для культивирования микроорганизмов в фармацевтической, пищевой и микробиологической промышленности и тепло-массообменных аппаратов в химической и нефтехимической промышленности.
10. Выполненные исследования и разработки защищены авторскими свидетельствами СССР № 543673, № 644453, № 685302, № 691171, № 740266, № 747111; заявка № 3002018/23-26 от 04.11.80 г. положительное решение ВНИИГПЭ о выдаче авторского свидетельства от 21.06.1981.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Остапчук Н.В., Голивец Г.И., Шерстобитов В.В., Совершенствование производства кормовых дрожжей на основе математических моделей. Обзор - М.: ОНТИГЭИмикробиопрома, 1973. - 67 с.
2. Исследование процесса выращивания кормовых дрожжей в колонном аппарате с псевдооживленным слоем орошаемой насадки/ Голивец Г.И., Шерстобитов В.В., Ларчук А.А., и др. - Науч.-техн. реф. сб./ОНТИГЭИ

- микробиопром. сер. Гидролиз. произ-во, 1976, № 3, с.2-5.
3. Ферментеры колонного типа для микробиологических процессов / Винаров А.Ю., Кафаров В.В., Шерстобитов В.В. и др.: Обзор - М.: ОНТИГЭИмикробиопром, 1976. - 49 с.
 4. Шерстобитов В.В., Винаров А.Ю., Голивец Г.И. Аппарат для аэробного культивирования микроорганизмов с плавающей турбулизирующей насадкой. - В кн.: Тез.докл.3-ей Всесоюз. конф. по комплексной механизации и автоматизации процессов в химикофармацевтической промышленности. М., 1977. с. 71 - 72.
 5. Ферментер для культивирования микроорганизмов в псевдооживленном слое / Шерстобитов В.В., Голивец Г.И., Ларчук А.А., и др. - В кн. Тез. докл. к конф. "Разработка аппаратуры для биосинтеза белка на углеводородах". Пущино, 1975, с. 6-7 - / с грифом ДСП /
 6. Исследование гидродинамики колонного ферментера для культивирования микроорганизмов в псевдооживленном слое / Шерстобитов В.В., Ларчук А.А., Голивец Г.И., Винаров А.Ю. - В кн. Тез.докл.VII конфер. мол. специалистов ВНИИсинтезбелка. М., 1977, с. 12 - 13 / с грифом ДСП /.
 7. Применение турбулизирующей насадки для интенсификации массообменных процессов при культивировании аэробных микроорганизмов. / Шерстобитов В.В., Голивец Г.И., Винаров А.Ю., Тихонов И.Д. - В кн.: Тез.докл. Всесоюз. науч.-техн.конф. "Основные направления по созданию оборудования для комплектных технологических линий микробиологической промышленности" Дзержинск, 1979, с.9-10 / с грифом ДСП/.
 8. Шерстобитов В.В., Винаров А.Ю., Чмырь А.Д., Разработка и испытание неметаллических насадочных элементов для интенсификации массообменных процессов в колонных биореакторах. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания "Коррозионностойкие защитные покрытия в химическом машиностроении" М., 1980, с. 78 - 79.
 9. Гидравлические характеристики лопастной плавающей насадки / Шерстобитов В.В., Михайленко Г.Г., Винаров А.Ю. Бездетный А.Н. -

- Хим. пром-сть, 1980, № 7 с. 433 - 434.
10. Винаров А.Ю., Шерстобитов В.В., Исследование гидродинамических и массообменных характеристик колонного биореактора с плавающей насадкой. - Хим. пром-сть, 1981, № 9, с.39-42.
 11. Винаров А.Ю., Шерстобитов В.В., Шкоп Я.Я. Применение колонного аппарата для процессов аэробного культивирования микроорганизмов. Науч.-техн. реф. сб./ОНТИГЭИмикробиопром сер.:Микробиол.пром-сть, 1981, № 3, с. 16-18
 12. А.с. № 543673./СССР/ Аппарат для аэробного выращивания микроорганизмов./Я.Я.Шкоп, А.Ю.Винаров, С.В.Кан, И.Д.Тихонов, В.В.Шерстобитов, М.И.Штром, А.Д.Денис. - Оpubл. в Б.И. 1977, № 3.
 13. А.с. № 544573./СССР/ Насадка для процесса тепломассообмена./В.В. Шерстобитов, Г.И.Голивец, А.А.Ларчук, Г.Г.Михайленко. - Оpubл. в Б.И. 1977, № 4.
 14. А.с. № 685302./СССР/ массообменная тарелка./В.В.Шерстобитов, Г.И. Голивец, Г.Г.Михайленко, А.П.Козак, В.Т.Пашедко, Ю.П.Шилев. - Оpubл. в Б.И. 1979, № 34.
 15. А.с. № 691171./СССР/ Насадка для процессов тепломассообмена./В.В. Шерстобитов, Г.И.Голивец, Г.Г.Михайленко, А.Ю.Винаров. - Оpubл. в Б.И. 1979, № 38.
 16. А.с. № 740266./СССР/ Насадка для процесса тепломассообмена./В.В. Шерстобитов, Г.И.Голивец, Г.Г.Михайленко, А.Ю.Винаров, В.С.Левидский. - Оpubл. в Б.И. 1980, № 22.
 17. А.с. № 747111./СССР/ Способ выращивания микроорганизмов./А.Т.Айсаков, А.Ю.Винаров, Ч.А.Гарбадинский, В.М.Емельянов, Ш.Г.Еникеев, Б.А.Кривой, П.А.Смыслов, Г.В.Сорокин, И.Д.Тихонов, В.В.Шерстобитов. - / не публикуется /.
 18. Заявка № 3002018/23-26 от 04.II.80./СССР/ Насадка для процессов тепломассообмена /её варианты/./В.В.Шерстобитов, Г.Г.Михайленко, А.Ю.Винаров, Е.В.Третьяк, А.Д.Тихонов, С.В.Кан, А.Д.Чмырь, положительное решение ВНИИГПЭ о выдаче авторского свидетельства от 21 мая 1981 года.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

S_n - площадь поверхности насадки; $D_{ср}$ - средний диаметр насадки;
 D_n - диаметр аппарата; V_p - рабочий объем аппарата; D_c - диаметр сепараци-
 онной части; $h_{сек}$ - высота секции аппарата; $h_{ст}$ - статическая высота
 слоя насадки; $h_{азр}$ - высота аэрационной зоны; $h_{сеп}$ - высота сепарацион-
 ного пространства секции аппарата; h_o - высота сепарационной зоны;
 $h_{дин}$ - динамическая высота газо-жидкостного слоя; h_o - высота осветлен-
 ного слоя жидкости; W_n - скорость газового потока в сечении аппарата;
 L - плотность орошения жидкостью, равная $Q_{ж}/S$; S - площадь сечения
 аппа. эта; φ - газосодержание; Δp - гидравлическое сопротивление; ξ - коэф-
 фициент сопротивления; F - доля "живого" сечения опорно-распределитель-
 ной тарелки; α - доля обратного потока; ψ - константа Генри; X - концен-
 трация микроорганизмов; G_B - расход газовой фазы; $G_{уд}$ - удельная продук-
 тивность процесса; α^{O_2} - стехиометрический коэффициент по кислороду;
 V - объемная скорость жидкой фазы; C - концентрация растворенного кисло-
 рода; Y_{O_2} - концентрация кислорода воздуха; N - показатель адиабаты;
 M_{O_2} - скорость сорбции кислорода; K - коэффициент пересчета объемного ко-
 эффициента массопередачи для условий ферментации.

КРИТЕРИИ:

1. Нуссельта $Nu_g = \frac{K_{га} l^2}{D_{ж}}$
2. Рейнольдса $Re_r = \frac{W_r \cdot l \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}}$
3. Прандтля $Pr = \frac{c_{ж} \mu_{ж}}{D_{ж} \cdot \rho_{ж}}$

индексы:

ж - жидко. гь;
 г - газ;
 н - начальное;
 к - конечное;
 вх - на входе;
 вых - на выходе.

$$l = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_{ж} \cdot g}}$$