

УДК 579.66

ИМПУЛЬСНЫЕ АППАРАТЫ И ПЕРСПЕКТИВА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИИ*

А.Е. СЫЧЁВ, В.А. СЫЧЁВ, Г.И. ВОРОБЬЁВА, А.И. ЗАЙКИНА, Р.А. РОГАЧЕВА

ОАО «ГосНИИ Синтезбелок», г. Москва
gvorobieva@yandex.ru

Биореакторы (ферментёры) составляют основу микробиологического производства различных продуктов. Разработана и предлагается к использованию конструкция импульсного аппарата, характеризующегося интенсивным массообменом и невысоким расходом электроэнергии.

Ключевые слова: ферментёр, импульсный аппарат, массообмен, энергозатраты, кормовые дрожжи

A.E.SYCHEV, V.A.SYCHEV, G.I.VOROBYOVA, A.I.ZAIKINA, R.A.ROGACHEVA. PULSE DEVICES AND PROSPECTS OF THEIR USE IN BIOTECHNOLOGY

Bioreactors (fermenters) form the basis of microbiological production of various products. The design of the pulse device characterized by intensive mass transfer and low power consumption is developed and proposed for use.

Key words: fermenter, switching apparatus, mass transfer, power consumption, feed yeast

Интенсификация и эффективность производственных процессов в значительной степени определяются уровнем оснащения современным оборудованием. В областях биотехнологии, химии, экологии первостепенное значение имеет ферментационное оборудование, в частности аппараты. Правильный выбор или разработка конструкции новых аппаратов приобретает большое значение, поскольку они определяют мощность всего производства и себестоимость готового продукта.

В конструкциях ферментёров важными элементами являются: хорошее диспергирование воздуха, равномерная и эффективная циркуляция (распределение) диспергированной массы внутри аппарата, а также отвод тепла. Известны следующие основные типы аппаратов отечественного производства: барботажный (трубчатый и коробчатый), эрлифтный (типовой), эрлифтно-периферийный, эрлифтно-многозонный, многозонной конструкции, колонный, горизонтальный с самовсасывающими мешалками, эжекционный, дрожжерастильный АДР-1250, АДР-900-76, АДР-200, Б-50 и другие [1, с. 9, 35]. Из зарубежных моделей известны аппараты фирм «Леф-

рансуа» (Франция), «Хепос» (Чехия) и «Уде-Хекс» (ФРГ), аппараты конструкции «УкрНИИСП» (Украина), концернов «IC» и «БП» (Великобритания), колонный аппарат фирм «Мицубиси» (Япония) и «Ликвихимик биосинтез» (Италия), струйный аппарат «ИЦ» (Германия), аппарат системы «Фогельбуша» (Австрия), шаровой аппарат фирмы «Хемап» (Швейцария) и другие [1–3].

Несмотря на большое разнообразие промышленных биореакторов, создаваемых различными фирмами, их можно подразделить на три основные группы в зависимости от системы перемешивания: аппараты с механическим, барботажным и эрлифтным перемешиванием. Биореакторы с механическим перемешиванием характеризуются тем, что воздух подают под давлением через распределитель, представляющий собой кольцо с множеством маленьких отверстий. При этом образуются мелкие пузырьки воздуха и за счёт механического перемешивания обеспечивается их равномерное распределение внутри аппарата. Для этой же цели используются мешалки, которые, разбивая крупные пузырьки воздуха, разносят их по всему реактору.

*Журнал «Известия Коми научного центра УрО РАН» не нацелен на публикацию статей по разработке новой техники и аппаратуры. В статье А.Е. Сычёва с соавторами редколлегия обратила внимание не столько на новизну технического решения, сколько на тот революционный прорыв, который эти аппараты могут сделать в развитии отечественной биотехнологической промышленности. В связи с имеющимся большим потенциалом и перспективами развития биотехнологии в Республике Коми публикация данной статьи представляется актуальной и своевременной. В последующих номерах журнала будут опубликованы результаты научных исследований с использованием описанного в статье импульсного аппарата.

Эффективность распределения воздуха зависит от типа мешалки, числа её оборотов и физико-химических свойств используемой среды. При интенсивном перемешивании часто имеет место вспенивание, поэтому рабочий объём биореакторов такого типа не превышает 55%.

Биореакторы с барботажной системой воздухо-распределения отличаются тем, что перемешивание в них осуществляется восходящими потоками воздуха, который подают под высоким давлением в нижнюю часть биореактора через барботёры, которые представляют собой воздушные трубы с отверстиями диаметром 0,1-0,2 мм. Подача воздуха под большим давлением приводит к сильному пенообразованию, поэтому рабочий объём биореакторов такого типа также не превышает 55%.

Биореакторы с эрлифтной системой воздухо-распределения характеризуются тем, что воздух подают через центральную трубу, которая обеспечивает внутреннюю циркуляцию жидкости за счёт внешней системы циркуляции, которая осуществляется также с помощью труб, установленных снаружи аппарата.

Перечисленные типы аппаратов являются дорогостоящими, энергоёмкими и имеют недостаточную производительность. Исключение составляют аппараты АДР-1250, АДР-900-76, АДР-200, Б-50 с высоким массообменом и удельной производительностью 2–2,5 кг/м³/час. Конструкция этих аппаратов была специально разработана для организации крупнотоннажного производства кормового белка на основе очищенных жидких углеводов. Например, аппарат Б-50 представляет собой цилиндрическую ёмкость объёмом 900 м³, разделённую на 12 секций. В каждой секции установлено перемешивающее и аэрирующее устройство, работающее по принципу эжекционной турбины, всасывающей воздух из атмосферы и при движении (вращении) её происходит перемешивание воздуха с жидкостью. При вращении турбины жидкость на выходе, обладая большой энергией, создаёт разрежение. В разрежённую зону подсасывается воздух из атмосферы по трубопроводу, соединённому с ёмкостью аппарата. В этой зоне происходит интенсивное смешение и насыщение кислородом. Мощность электродвигателя, установленного для привода каждой турбины, составляла 315 кВт.

Внедрение этих аппаратов в промышленное производство позволило получать на восьми действовавших в СССР крупнотоннажных заводах БВК (белково-витаминный концентрат) более 1 млн. т в год кормовых дрожжей для животноводства.

Однако в современных условиях при переходе на свободные цены на энергоносители, конструкция данных аппаратов оказалась неконкурентоспособной из-за большого потребления электроэнергии: затраты электроэнергии составили 10 кВт на 1 м³ жидкости или в пересчёте на 1 т белкового продукта 2800–3000 кВт. Таким образом, микробиологические производства на сегодняшний день не обеспечены экономически целесообразными промышленными аппаратами.

В связи с изложенным, большое практическое значение приобретают импульсные аппараты, имеющие принципиально иное конструирование,

обеспечивающее низкие энергозатраты при сохранении технологических показателей. Первые работы по импульсным аппаратам были выполнены А.А.Долинским с соавторами [1], которые сконструировали ферментёр, работавший на импульсной подаче воздуха в аппарат. Существенное отличие импульсного аппарата от всех известных заключается в резкой интенсификации взаимодействия поверхности контакта фаз (вода–воздух), что позволило существенно увеличить перенос газа в жидкую фазу. Это достигается периодической подачей из импульсатора в массообменный аппарат газо-жидкостной эмульсии. Управление интенсивностью массообмена осуществляется изменением частоты впуска и выпуска воздуха (цикличности) и его давлением. Частота пульсаций составляет 40–200 мин⁻¹, скорость движения газо-жидкостной эмульсии – 3–7 м/с.

Результаты и обсуждение

В основе настоящих разработок была использована идея импульсного перемешивания, однако в отличие от описанного выше аппарата, взаимодействие газо-жидкостных фаз (вода – воздух) было обратным. То есть, известные импульсные ферментёры использовали движение жидкой фазы под давлением воздуха. В наших разработках, наоборот, процесс перемешивания протекает за счёт передвижения самой жидкой фазы. Импульсный аппарат предлагаемой конструкции включает две одинаковые по объёму горизонтально расположенные герметические ёмкости, снабжённые патрубками для подачи и отвода жидкой фазы, а также барботёрами для постоянной подачи сжатого воздуха. Перемешивание жидкой фазы из одной ёмкости в другую по переливным трубам осуществляется посредством устройства для поочередного отвода отработанного воздуха. Устройство содержит электромагнитные клапаны, управляемые посредством реле времени или другим устройством, например, датчиком уровня жидкости в аппарате. Через заданное время реле подаёт сигнал на открытие электромагнитного клапана и отработанный воздух отводится в атмосферу из одной ёмкости аппарата, в котором давление выше. При этом давление в этой ёмкости аппарата снижается и жидкая фаза перетекает из неё в другую ёмкость, после чего электромагнитный клапан закрывается. Далее этот же процесс протекает в другой ёмкости, и таким образом за счёт движения (перетекания) жидкостной фазы из одной ёмкости в другую происходит перемешивание.

В качестве примера на рис. 1–4 представлена принципиальная схема наиболее совершенной конструкции импульсного аппарата для выращивания микроорганизмов:

- рис. 1 – фронтальный вид аппарата;
- рис. 2 – вид аппарата сверху по А-А (см. рис. 1);
- рис. 3 – разрез аппарата по Б-Б (см. рис. 1);
- рис. 4 – разрез аппарата по В-В (см. рис. 1).

Аппарат работает следующим образом. Через патрубок (5) в ёмкости (1) и (2) подаются питательная среда и засевная культура, через барботёры (16) и (17) – воздух. Ёмкости (1) и (2) разделены

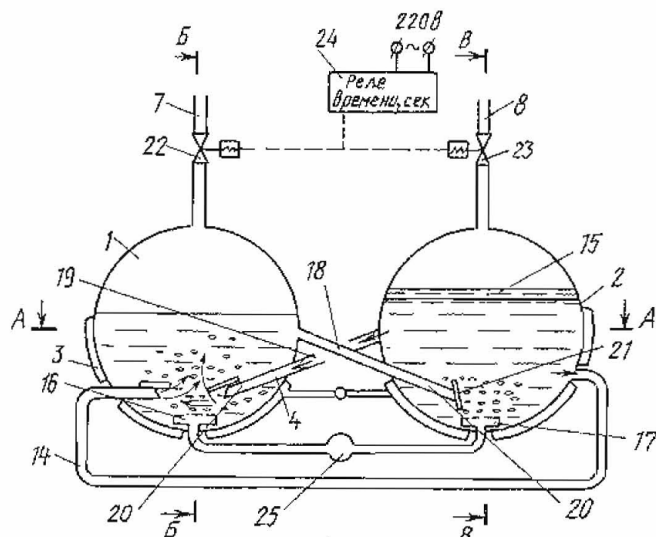


Рис. 1. Фронтальный вид аппарата.

на зоны (секции в количестве 4 и более в зависимости от конкретной задачи) для обеспечения оптимального массообмена. Переток культуральной жидкости осуществляется через переливные трубы (18) и (19) в виде струй из ёмкости в ёмкость при переменном изменении давления воздуха в них.

С помощью электромагнитного клапана (22) на выпускном патрубке (7) ёмкости (1), который посредством реле времени (23) через определённый интервал открывается, отработанный воздух выводится из неё. За счёт снижения давления в ёмкости (1) культуральная жидкость перетекает из ёмкости (2), в которой давление воздуха выше, в ёмкость (1) по трубе (19).

Затем клапан (22) закрывается и в ёмкости (1) давление воздуха повышается. Через заданное время от реле (24) поступает сигнал на открытие электромагнитного клапана (23) на выпускном патрубке (8) ёмкости (2), и отработанный воздух удаляется в атмосферу, в результате чего давление внутри ёмкости (2) снижается и происходит переток культуральной жидкости из ёмкости (1) в ёмкость (2). Такое перетекание культуральной жидкости из ёмкости в ёмкость осуществляется в течение всего процесса выращивания. Температурный режим в ёмкостях поддерживается при помощи теплообменной рубашки (3). Кроме того, из ёмкости (2) по циркуляционному трубопроводу (14) культуральная жидкость непрерывно поступает в зону (11) подачи питательной среды ёмкости (1), что обеспечивает постоянное инокулирование микроорганизмов в питательную среду (см. рис. 2). Культуральная жидкость после окончания процесса выращивания отводится из зоны (13) через патрубков (6). Переливная перегородка (15) позволяет поддерживать в ёмкостях стабильный заданный уровень жидкости.

Интенсификация импульсного перемешивания и, следовательно, увеличение массообмена аппарата зависят от частоты цикличности взаимного вертикального перемещения суспензии сверху вниз аппарата. В процессе разработок импульсных аппаратов нами применён ряд конструкций новой

системы, отличающийся меньшим количеством циклов, задаваемых реле времени. Были испытаны различные количества циклов перекачки жидкостной фазы от 3 до 0,1 мин⁻¹. В результате установлено, что наиболее оптимальным является интервал времени от 2 до 0,5 мин⁻¹, который обеспечивает наилучшие условия перемешивания. Оптимизация цикличности перемешивания позволила интенсифицировать процесс массообмена за счёт постоянного обновления поверхности контакта фаз. Объёмный коэффициент массообмена при этом увеличился в три-пять раз при одновременном уменьшении расхода воздуха в два раза [4].

Дальнейшее совершенствование конструкций импульсных ап-

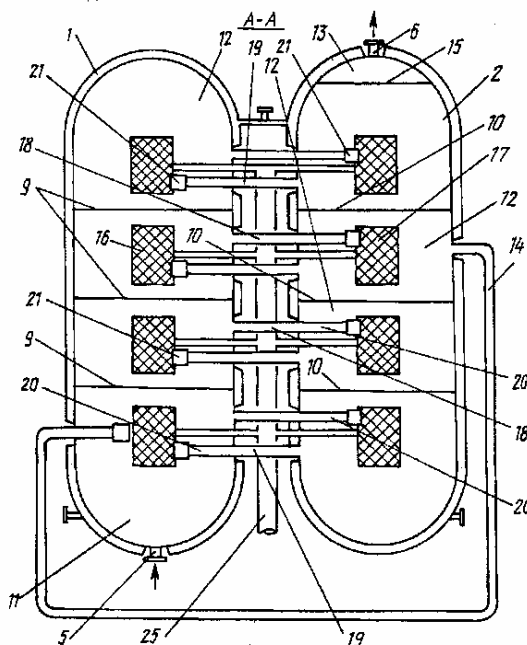


Рис. 2. Вид аппарата сверху по А-А (см. рис. 1).

паратов было направлено на достижение идеального смешения и идеального вытеснения суспензии, что позволило осуществлять процессы выращивания в непрерывном режиме [5].

В соответствии с разработанными конструкциями были изготовлены аппараты различной ёмкости и геометрической формы (см. рис. 1) для лабораторных (объёмом 7 л), камеральных (0,06; 0,2; 2,0 м³) и промышленных условий (60–100 м³).

Ниже приведены примеры испытаний и промышленного применения импульсных аппаратов в различных процессах стерильного и нестерильного выращивания микроорганизмов при различных условиях аэрации (окисления или брожения), а также для очистки стоков и в химической промышленности.

В импульсном аппарате объёмом 60 л (по рис. 1) в камеральных условиях проведен процесс

выращивания дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* ВСБ-193 на ферментализате муки пшеничной, подвешенной к размалыванию до размера частиц 20–60 мкм. Непрерывный процесс выращивания осуществляли отъемно-доливным способом. Концентрация сухих веществ в аппарате составляла 2,0–3,5%, содержание редуцирующих веществ (pВ) – 2,5–3,0%. Процесс вели в течение трех суток. Расходный коэффициент (весовое отношение использованного субстрата к количеству полученного готового продукта) варьировал 1,1–1,2. Культуральную суспензию в конце процесса выращивания отделяли на центрифуге. Осадок лиофилизировали. Содержание сырого протеина в готовом продукте составило 42,8%.

На Кстовском ОПЗ БВК в разные годы были проведены испытания импульсных аппаратов различных объемов, начиная от лабораторных, камерных моделей и кончая промышленными аппаратами. Дрожжи рода *Candida* выращивали на минеральной среде с *n*-парафинами (2%) на импульсных аппаратах объемами 0,2 м³ и 2,0 м³ (по рис. 1). Контролем служил стандартный, ранее применяемый в микробиологической промышленности, ферментер с механическим перемешиванием объемом 6,3 м³, снабженный циркуляционным насосом для обеспечения перемешивания по типу эрлифтного барботажа. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели процессов выращивания дрожжей на экспериментальных образцах импульсного аппарата и в промышленном ферментёре

Параметры	Контрольный аппарат (аппарат с мешалкой), V 6,3 м ³	Импульсный аппарат, V 0,2 м ³	Импульсный аппарат, V 2,0 м ³
Начальная концентрация сухих веществ, г/л	4,2	4,2	4,2
Конечная концентрация сухих веществ, г/л	7,8	8,0	12,0
Удельный расход воздуха на аэрацию среды	1 м ³ /м ³ /мин.	1 м ³ /м ³ /мин.	1 м ³ /м ³ /мин.
Время выращивания, ч.	14	2,5	4

Согласно полученным результатам, время удвоения концентрации биомассы в контрольном аппарате составило 14 ч., в импульсных аппаратах объемом 0,2 м³ – 2,5 ч.; объемом 2,0 м³ концентрация биомассы практически была удвоена за 4 ч.

Промышленный образец импульсного аппарата объемом 12 м³ и рабочем объеме 6,3 м³ (по рис. 1) был испытан в периодическом режиме выращивания дрожжей *Candida guilliermondii* ВСБ-569. Амплитуда колебаний уровня культуральной жидкости составляла 1,2 м, частота колебаний – 1,5 в минуту, расход воздуха 1000 м³/час, давление в

аппарате (избыточное) – 0,3–0,15 кг/см² (0,03–0,015 МПа). Для подачи воздуха использовали воздушодувку ТВ- 80х1,4 производительностью 5000 м³/час при мощности 55 кВт. Для сравнения по потребляемой мощности и времени накопления биомассы был принят промышленный аппарат объемом 10 м³ с эжекционным распределением воздуха (ферментер Б-50). В результате проведенных испытаний выявлено, что затратная мощность промышленного аппарата достигла 40 кВт, импульсного – 10. Время накопления биомассы до 25 г/л в промышленном аппарате составило 11 ч., в импульсном – 5.

На Кстовском ОПЗ БВК в течение трёх лет также были проведены сравнительные испытания и промышленная эксплуатация импульсного аппарата объемом 100 м³ (рабочий объем 50 м³) (по рис. 1). При работе в непрерывном режиме выращивания дрожжей на *n*-парафинах (2 % объёмн.) получена часовая производительность 150 кг прессованных дрожжей, удельный съём 2,6 кг/ч/м³. Расход воздуха при этом составил 5000 м³/час при давлении 0,6 кгс/см². Контрольный аппарат Б-50 эжекционного типа объемом 250 м³ (рабочий объем 110 м³) имел часовую производительность 130 кг прессованных дрожжей, удельный съём 1,4 кг/ч/м³. При этом расход воздуха при том же давлении достигал 17000 м³/час, т.е. практически в три раза больше. Расход электроэнергии на 1 кг биомассы составил 0,5 кВт при работе на импульсном аппарате и 45 кВт при работе аппарата Б-50, т.е. расход электроэнергии в промышленном аппарате был в девять раз больше.

На Ливанском (Латвия) опытном биохимическом заводе были проведены камеральные испытания импульсного ферментёра объемом 2,0 м³ (по рис. 1) при объеме культуральной среды 1,2 м³ для получения лизина. Ферментацию осуществляли с использованием штамма бактерий *Brevibacterium* sp. Е-531. Процесс протекал в течение 72 ч. на мелассной среде при исходной концентрации сахара 9,2% и в конце процесса 3,2%. Концентрация лизина составила 31,7 г/л, скорость биосинтеза – 0,44 г/л/час, коэффициент конверсии сахара в лизин – 50% (0,5). По данным У.Э. Виестура [1], в аппаратах с механическим перемешиванием на том же заводе эти показатели составили 80 ч., скорость биосинтеза лизина – 0,32 г/л/час и коэффициент конверсии сахара в лизин – 45% (0,45).

Импульсный промышленный аппарат, представляющий собой два спаренных промышленных ферментёра единичной ёмкостью 30 м³ (по рис. 1), был испытан в течение семи месяцев на Ливанском биохимическом заводе (ОБХЗ) при удельном расходе воздуха 0,9 м³/м³ питательной среды для производства лизина. В качестве контрольных аппаратов использовали два промышленных ферментёра с механическим перемешиванием ёмкостью по 30 м³ при том же расходе воздуха. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Согласно полученным данным, по всем трём показателям импульсный аппарат имел преимущества: продолжительность ферментации сокращена на 20%, концентрация лизина повышена на 12,96%, скорость накопле-

Таблица 2

Сравнительные показатели процессов производства лизина на Ливанском ОБХЗ

Аппарат	Продолжительность (усреднённый показатель), ч.	Концентрация лизина (усреднённый показатель), г/л	Скорость накопления лизина (усреднённый показатель), г/л/ч.
Промышленный	80	35,5	0,45
Импульсный	64,5	40,1	0,63

ния лизина увеличена на 40%. При этом эксплуатационная надежность импульсного аппарата была равнозначна надёжности промышленным ферментёрам.

Импульсный аппарат (см. рис. 1–4) был испытан при производстве антибиотиков кормогризина и стрептомицина. При этом достигнуто снижение подачи воздуха в аппарат в два раза, увеличение коэффициента заполнения ферментёра на 20-30%. В результате повышалось качество готового продукта: активность препаратов увеличилась на 20-25% по сравнению с продуктом, полученным при работе действовавшего аппарата с механическим перемешиванием.

На импульсном аппарате объёмом 12,6 м³, модифицированном для анаэробных процессов, проведено брожение бактерий рода *Clostridium* на ферментолизате размолотых древесных опилок для получения бутанола (г. Тулун Иркутской обл.). В периодическом режиме процесс брожения прошёл за 36 ч., тогда как в традиционном используемом ферментёре этот процесс занял 72 ч.

Опытный образец переносного импульсного аппарата облегченной конструкции был использован для выращивания дрожжей на стоках со свинокомплексов и птицефабрик. Содержание аммонийных солей в них составляло до 700 мг/л, фосфатов – до 250. После проведения процесса выращивания содержание аммонийных солей снизилось до 15–20 мг/л при полном отсутствии фосфатов. Полученная биомасса кормовых дрожжей содержала сырой протеин 42,0–49,0% по сухому весу, истинный белок 35,0–41,0 %, полный набор незаменимых аминокислот, в том числе лизина 5,2–5,5% по сухому веществу протеина. Дрожжевая биомасса была испытана на свинокомплексах: Ильиногорском Нижегородской области, в Словении (г. Птуй), Гер-

мании (в районе г. Нойстерлиц), на птицефабрике г. Курска. Привес живой массы свиней составил 6–8% по сравнению с контролем.

Использование импульсного аппарата в качестве аэротенка с организованным выбросом отработанного воздуха на очистных сооружениях или на свинокомплексах и птицефабриках позволит установить предварительную очистку промышленных стоков непосредственно на предприятиях, не требуя для этого специальных территорий и санитарно-защитных зон, и обеспечить надлежащие показатели поступающих на основную очистку стоков.

Импульсный аппарат (рис. 1–4), помимо испытаний и применения в микробиологической отрасли, был использован в 1990-е гг. на предприятии П/Я А-7593 и Волгоградском ПО «Каустик» в процессе глубокой дегазации суспензии полимера поливинилхлорида (ПВХ) от мономера винилхлорида с целью получения ПВХ для применения в

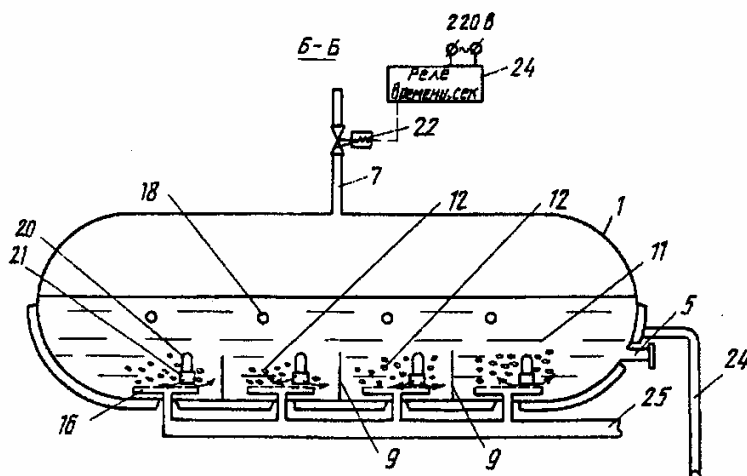


Рис. 3. Разрез аппарата по Б-Б (см. рис. 1).

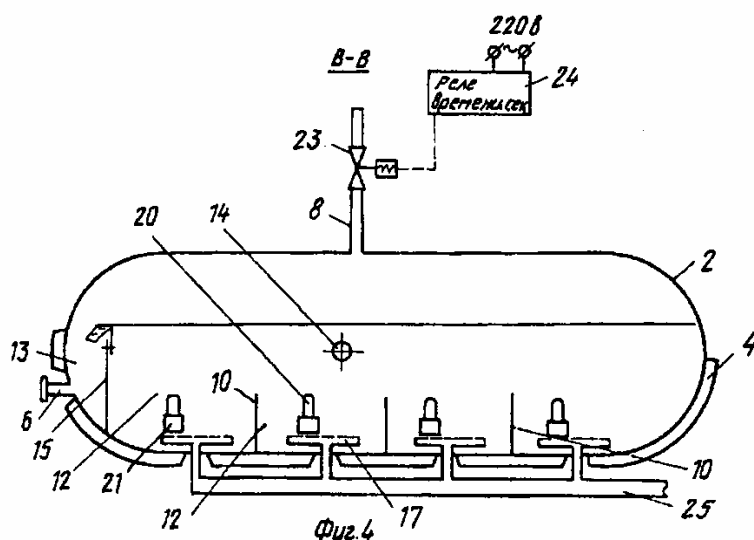


Рис. 4. Разрез аппарата по В-В (см. рис. 1).

пищевой промышленности. Испытания проводили в импульсном аппарате объемом 0,2 м³ в сравнении с колонными тарельчатыми аппаратами. На импульсном аппарате было получено более 17 т ПВХ марки «С» с содержанием остаточного винилхлорида не более 10 ppm. При этом процесс был более устойчивым по сравнению с аппаратами колонного типа, что также подтверждает лучшие массообменные характеристики импульсного аппарата в сравнении с аппаратами колонного типа.

На основании проведенных исследований и результатов длительных промышленных испытаний, можно заключить, что различные по объёму импульсные аппараты данной конструкции являются пригодными прежде всего для осуществления процессов выращивания микроорганизмов как в аэробных, так и в анаэробных условиях с целью получения различных продуктов, в частности кормового белка, аминокислот, спиртов.

Таким образом, ферментёры с импульсным перемешиванием позволяют рассматривать их как экономичные и интенсивные массообменные аппараты, характеризующиеся малой энергоёмкостью. Импульсные аппараты по своим технологическим показателям превосходят аппараты с барботажной, эрлифтной, механической и другими системами воздухораспределения, которые более пригодны для работы с субстратами, характеризующимися низким содержанием сухих веществ не более 2 – 2,5%, такими как меласса, гидролизаты, послеспиртовая барда и т.д.

Импульсные аппараты позволяют сократить расходы на электроэнергию при сохранении или улучшении техникоэкономических показателей микробиологических и химических процессов. Например, в настоящее время на действующем заводе БВК (Новополоцкий завод в Республике Беларусь), использующих реконструированный аппарат Б-50, при производительности до 100 т в сутки кормовых дрожжей на ферментализате отрубей затраты электроэнергии на 1 т составляют 450–500 кВт. На импульсном аппарате (см. рис. 1) на том же сырье при мощности завода 8 тыс. т в год затраты электроэнергии на 1 т готового продукта – 55–60 кВт, т.е. практически в девять раз меньше. Более низкое потребление электроэнергии на импульсных аппаратах объясняется тем, что в их конструкции отсутствуют электродвигатели, и интенсивность перемешивания среды определяется не мощностью электродвигателя, установленного на мешалке, а перемешиванием определённого количества жидкости в единицу времени, например, м³/час. Скорость движения жидкости в аппарате обычно закладывается при расчёте каждого аппарата с импульсной системой массообмена с учетом поправки на возможность пенообразования.

Импульсные аппараты дают возможность вести процессы культивирования микроорганизмов с высоким содержанием сухих веществ (10–15%), что является определяющим при производстве кормовых дрожжей на основе отходов зернового сырья, обеспечивая рентабельность завода.

По анализу результатов всех выполненных на импульсных аппаратах работ налицо заключение о том, что импульсные аппараты малых и больших объёмов дают аналогичные результаты (см. табл. 1). Это означает, что он легко масштабируется при расчёте аппаратов любого объёма. И может быть изготовлен не только любой величины (от нескольких литров до тысячи и более м³), но и любой конфигурации, что позволяет использовать его в различных областях биотехнологии при производстве аминокислот, антибиотиков, спиртов и других продуктов, а также в химической промышленности и в фермерских хозяйствах для очистки стоков.

Таким образом, импульсные аппараты можно рекомендовать как наиболее перспективный и универсальный тип ферментационного оборудования как для крупнотоннажных биотехнологических предприятий, так и для установок малой мощности, используемых для получения белковых кормов, а также в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Виестур У.Э., Кузнецов А.М., Савенков В.В. Системы ферментации. Рига: Зинатне, 1986. 174 с.
2. Андреев А.А., Брызгалов Л.И. Производство кормовых дрожжей. М.: Лесная промышленность, 1986. 109 с.
3. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов. М.: Лесная промышленность, 1979. 344 с.
4. Патент 1049535 РФ. Аппарат для выращивания микроорганизмов / Г.В.Антипин, С.Н.Горлов, Р.В.Катруш и др. Заявл. 25.12.81; Оpubл. 23.10.83; Бюл. №39.
5. Патент 2144952 РФ. Аппарат для выращивания микроорганизмов / А.Е.Сычёв, В.А.Сычёв, Р.Я.Мевлюдов; Заявл. 10.06.99; Оpubл. 27.01.2000; Бюл. №3.

Статья поступила в редакцию 27.02.2012.